



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

**Carrera de Ingeniería Agronómica**

**TITULO:**

**“Efectos de la variación del nivel de luz y lluvia en el microclima de parcelas  
experimentales cultivadas con Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y Rye grass (*Lolium  
multiflorum*) en el cantón Guachapala de la provincia del Azuay.”**

*Trabajo de titulación previo a la obtención  
del título de Ingeniero Agrónomo*

- **AUTORES:** - Marco Antonio Aucapiña Chaca  
C.I 0105618060  
  
- Christian Eduardo Cajamarca Plaza  
C.I 0106576358
- **DIRECTOR:** Ing. Edison Patricio Timbe Castro PhD.  
C.I. 0301289963

**CUENCA, ECUADOR**

10/06/2019



## RESUMEN

En la provincia del Azuay la mayoría de los sistemas de producción de pasturas se encuentran como monocultivos. Estos sistemas de producción pueden presentar vulnerabilidad a eventos de precipitación extrema o heladas por radiación. Eventos que, tanto en recurrencia como en intensidad, podrían verse incrementados debido a fenómenos como el cambio climático, poniendo en riesgo la sostenibilidad de las actividades ganaderas. Ante esto, y para reducir la vulnerabilidad de los sistemas de producción tradicionales, es necesario adoptar nuevos esquemas de producción como, los sistemas silvopastoriles. En esta línea, con el presente proyecto se analizó los efectos de diferentes niveles de luz y lluvia en dos tipos de pastos. Para esto, mediante estructuras especialmente diseñadas para la exclusión de luz y lluvia, se alteró de manera artificial el microclima de parcelas de 2x2 m, cultivadas con: kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y rye grass (*Lolium multiflorum*). Se analizaron 60 parcelas en las que se probaron 11 tratamientos, relacionados con diferentes niveles de exclusión de luz (30, 50 y 80%) y lluvia (25 y 50%), a ser comparadas con parcelas testigo, en las que no hubo exclusión de ningún tipo. Tanto en las parcelas testigo, como en los tratamientos, se monitorearon diversos parámetros meteorológicos, físicos y biológicos: temperatura ambiental, humedad relativa, radiación fotosintéticamente activa, humedad y temperatura del suelo, conductancia estomática. Nuestros resultados muestran que, la conductancia estomática muestra diferencias significativas en la primera etapa de madurez fisiológica, segundo corte tanto para rye grass como para kikuyo con exclusión de lluvia T<sub>10-0</sub>, T<sub>50-25</sub>, y T<sub>90-50</sub>, la temperatura y humedad del suelo mostraron valores significativos en los diferentes tratamientos, la exclusión de luz resultó ser un factor determinante para estas dos variables, la temperatura en presencia de la exclusión de luz del 80% (T<sub>280-0</sub>) disminuyó hasta 5 °C en comparación a las condiciones ambientales normales (T<sub>10-0</sub>), con un valor de significancia de 0.048; la humedad del suelo varió de 0.32 m<sup>3</sup>\_m<sup>-3</sup> en un 80% (T<sub>280-0</sub>) de exclusión de luz, en comparación a 0.28 m<sup>3</sup>\_m<sup>-3</sup> en condiciones normales (T<sub>10-0</sub>), con un valor de significancia 2e-16, esto se debe a que la presencia de sombra, evita una pérdida acelerada del agua almacenada en la parcela; la temperatura ambiente y humedad relativa no mostraron diferencias significativas entre tratamientos.

## PALABRAS CLAVES

*Lolium multifloru*, *Penisetum clandestinu*. Sistemas agroforestales. Luz. Lluvia. Conductancia estomática. Humedad del suelo. Temperatura del suelo. Temperatura ambiente. Humedad relativa. Radiación fotosintéticamente activa.



## ABSTRACT

In the province of Azuay, most pasture production systems are found as monocultures. These production systems may present vulnerability to extreme precipitation events or frost by radiation. Events that, both in recurrence and in intensity, could be increased due to phenomena such as climate change, putting at risk the sustainability of livestock activities. Before this, and to reduce the vulnerability of traditional production systems, it is necessary to adopt new production schemes such as forestpasture systems. In this line, with the current project were analyzed the effects of different levels of light and rain, given as result two types of pasture. For this, through structures specially designed for the exclusion of light and rain, by artificial way, the microclimate of parcels 2x2m cultivated with: kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) and ryegrass (*Lolium multiflorum*), was artificially altered. Sixty parcels were analyzed, in which 11 treatments related to different levels of light exclusion (30, 50 and 80%) and rainfall (25 and 50%) were tested, to be compared with natural parcels, in which there was no exclusion of any kind. Both in the natural parcels and in the treatments, various meteorological, physical and biological parameters as: environmental temperature, relative humidity, photosynthetically active radiation, humidity and soil temperature, and stomatal conductance were monitored. Our results show that, stomatal conductance shows significant differences in the first stage of physiological maturity, second cut for both rye grass and kikuyo with exclusion of rain T1<sub>0-0</sub>, T5<sub>0-25</sub>, y T9<sub>0-50</sub>; the temperature and humidity of the soil showed significant values in the different treatments; the exclusion of light turned out to be a determining factor for these two variables. The temperature in the presence of light exclusion of 80% (T2<sub>80-0</sub>) decreased to 5 ° C in comparison to normal environmental conditions (T1<sub>0-0</sub>), with a significance value of 0.048; the soil humidity varied from 0.32 m<sup>3</sup>\_m<sup>-3</sup> in 80% (T2<sub>80-0</sub>) of light exclusion in comparison to 0.28 m<sup>3</sup>\_m<sup>-3</sup> under normal conditions (T1<sub>0-0</sub>), with a value of significance 2e-16; this is because the presence of shade prevents an accelerated loss of water stored in the parcel; the environmental temperature and relative humidity did not show significant differences between the treatments.

## KEYWORDS

*Lolium multiflorum*. *Penisetum clandestinum*. Agroforestry systems. Light. Rain. Stomatal conductance. Ground humidity. Ground temperature. Ambient temperature. Relative humidity. Photosynthetically active radiation.



## TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN .....	17
2. JUSTIFICACIÓN .....	19
3. OBJETIVOS .....	20
3.1 Objetivo general del proyecto (OG) .....	20
3.2 Objetivos específicos (OE) .....	20
4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....	20
5. REVISIÓN DE LITERATURA .....	21
5.1 Sistemas Silvopastoriles .....	21
5.2 Efectos esperados del cambio climático .....	23
5.3 Sistemas silvopastoriles y cambio climático .....	23
5.4 Factores climáticos cruciales para el desarrollo de pastos.....	24
5.5 Conductancia estomática .....	25
5.6 Kikuyo (pennisetum clandestinum) .....	25
5.7 Rye grass (Lolium Multiflorum).....	26
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
6.1 Ubicación y descripción del área de estudio.....	27
6.2 Características del área de estudio .....	27
6.3 Características edáficas del área de estudio .....	29
6.4 Duración de la investigación y especificación de las variables a evaluarse .....	30



6.5	Especificación del diseño de campo .....	30
6.6	Sistema de exclusión de lluvia y luz en parcelas .....	31
6.7	Instalación de parcelas .....	33
6.8	Monitoreo de variables .....	34
6.9	Monitoreo de la conductancia estomática.....	35
6.10	Monitoreo de la precipitación .....	35
6.11	Monitoreo de la temperatura y humedad relativa .....	36
6.12	Monitoreo de la temperatura y humedad del suelo .....	37
6.13	Mantenimiento de parcelas .....	38
6.14	Diseño experimental y análisis estadístico .....	38
7.	RESULTADOS .....	40
7.1	Verificación de la efectividad del sistema de exclusión de luz a 30, 50, 80% y de lluvia a 25, 50% a nivel de pasturas .....	40
7.1.1	Efectividad del sistema de exclusión de luz a 30, 50 y 80% en pasturas.....	40
7.1.2	Efectividad del sistema de exclusión de lluvia a 25 y 50%, en pasturas.....	41
7.2	Conductancia estomática (CE) a nivel de pasturas .....	42
7.2.1	Conductancia estomática en los pastos rye grass y kikuyo primer corte .....	42
7.2.2	Conductancia estomática en los pastos rye grass y kikuyo segundo corte.....	43
7.2.3	Conductancia estomática en los pastos rye grass y kikuyo, tercer corte .....	46



7.3 Influencia de la reducción de disponibilidad de lluvia en la humedad del suelo a nivel de pasturas .....	48
7.4 Influencia de la reducción de lluvia en la temperatura del suelo a nivel de pasturas. ....	51
7.5 Influencia de la reducción de la disponibilidad de luz en la temperatura ambiente a nivel de pasturas. ....	55
7.6 Influencia de la reducción de la disponibilidad de luz en la humedad relativa a nivel de pasturas. ....	57
8. DISCUSIÓN .....	59
8.1 Evaluación de la Conductancia Estomática a nivel de pasturas. ....	59
8.2 Variación de la humedad del suelo con relación a los tratamientos .....	60
8.3 Influencia de la reducción de lluvia en la temperatura del suelo .....	61
8.4 Influencia de la reducción de lluvia en la temperatura ambiente .....	61
8.5 Influencia de la reducción de lluvia en la humedad relativa ambiental .....	62
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	63
10. BIBLIOGRAFIA .....	65
11. ANEXOS .....	73



## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Especificación de los tratamientos .....	32
Tabla 2. ANOVA para la conductancia estomática del Rye grass.....	42
Tabla 3. Kruskal-Wallis para la CE del Kikuyo. ....	42
Tabla 4. ANOVA para la conductancia estomática del rye grass. ....	43
Tabla 5. ANOVA para la conductancia estomática del kikuyo. ....	44
<b>Tabla 6.</b> ANOVA del factor lluvia para la conductancia estomática del rye grass y kikuyo primer muestreo. ....	44
<b>Tabla 7.</b> ANOVA para la conductancia estomática .....	46
<b>Tabla 8.</b> ANOVA para la conductancia estomática del kikuyo (factores lluvia e interacción). .....	46
<b>Tabla 9.</b> Kruskal-Wallis de la conductancia estomática del rye grass para la interacción y kikuyo para la luz.....	47
<b>Tabla 10.</b> Kruskal wallis para la humedad del suelo con los factores lluvia,.....	48
<b>Tabla 11.</b> Prueba de Wilcoxon para la humedad del suelo factor luz. ....	48
<b>Tabla 12.</b> Prueba de Wilcoxon de la humedad de suelo para la interacción luz-lluvia.....	49
<b>Tabla 13.</b> Prueba de Kruskal-Wallis para la temperatura del suelo. ....	51
<b>Tabla 14.</b> Prueba de Wilcoxon temperatura del suelo factor luz. ....	52
<b>Tabla 15.</b> Prueba de Wilcoxon para las diferencias de la temperatura del suelo de acuerdo a la interacción de lluvia-luz. ....	52
<b>Tabla 16.</b> Prueba de Kruskal-Wallis para determinar significancia de cambios en la temperatura ambiental (TA) asociados a factores que consideran variación de luz y/o lluvia. .....	55



**Tabla 17.** Prueba de Kruskal-Wallis para determinar existencia de diferencias en la humedad relativa asociadas a cambios en los factores sombra y lluvia. ....57

### LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localización del área de estudio.....	27
<b>Figura 2.</b> Información meteorológica del área de estudio. (a) Temperatura ambiente, (b) Humedad relativa (HR), (c) Precipitación, (d) Radiación Fotosintética Activa (RFA), (e) Humedad del suelo, (f) Temperatura del suelo.....	29
<b>Figura 3.</b> Distribución de tratamientos.....	31
<b>Figura 4.</b> Sistema de exclusión de luz y lluvia en las parcelas. ....	32
<b>Figura 5.</b> Unidad experimental.....	33
<b>Figura 6.</b> Rotación de las estaciones meteorológicas en 4 periodos. ....	36
<b>Figura 7.</b> Sensores instalados en las parcelas: RFA, temperatura.....	37
<b>Figura 8.</b> Sistema de Exclusión de Luz en 3 niveles: 30% (a), 50% (b) y 80% (c). ....	40
<b>Figura 9.</b> Sistema de Exclusión de Lluvia en 2 niveles: 25% (a) y 50% (b).....	41
<b>Figura 10.</b> CE del Rye grass Interacción Luz-Lluvia.....	43
<b>Figura 11.</b> Variación de la CE en el rye grass (a) y kikuyo (b), factor lluvia, (I muestreo - segundo corte). ....	45
<b>Figura 12.</b> Variación de la conductancia estomática del rye grass, ....	47
<b>Figura 13.</b> Variación de la humedad del suelo con relación .....	49
<b>Figura 14.</b> Comportamiento de la humedad del suelo entre tratamientos.....	50
<b>Figura 15.</b> Temperatura del suelo en relación con la sombra y lluvia. ....	53
<b>Figura 16.</b> Comportamiento de la temperatura del suelo entre tratamientos. ....	54
<b>Figura 17.</b> Temperatura ambiente en relación con la luz y lluvia.....	56





**Figura 18.** Comportamiento de la temperatura ambiente entre tratamientos. ....56

**Figura 19.** Cambios en la humedad relativa en relación con cambios de luz y lluvia. ....57

**Figura 20.** Comportamiento de la humedad relativa entre tratamientos. ....58

## LISTA DE ANEXOS

**Anexo 1.** Análisis del contenido de humedad del suelo y su potencial capilar (pF) del área de estudio. ....73

**Anexo 2.** Box plot del contenido de humedad del suelo y su potencial capilar (pF).....73

**Anexo 3.** Análisis de las características químicas del área de estudio.....75

**Anexo 4.** Box plot del análisis químico del: pH, N, P y K .....76

**Anexo 5.** Verificación de la exclusión de lluvia del área experimental.....76

**Anexo 6.** Sistema de exclusión de lluvia y toma de datos de tanques recolectores de lluvia.  
.....77

**Anexo 7.** Base de datos verificación exclusión de lluvia.....77

**Anexo 8.** Verificación de la exclusión de luz del área experimental.....78

**Anexo 9.** Análisis de la CE en los pastos rye grass y kikuyo, I-II-III corte.....78

**Anexo 10.** Monitoreo de variables climáticas en el área de estudio .....79

**Anexo 11.** Base de datos verificación exclusión de luz.....80

**Anexo 12.** Calibración de sensores de humedad del suelo (FDR) del área de estudio.....80

**Anexo 13.** Recolección de muestras de suelo dentro del área de estudio.....81

**Anexo 14.** Pesado y secado de muestras de suelo en laboratorio. ....81

**Anexo 15.** Base de Datos para la Calibración de FDR. ....82

**Anexo 16.** Equipo de medición de conductancia estomática (porómetro), mantenimiento del equipo, etiquetado de pasturas y muestreo de conductancia.. ....83



<b>Anexo 17.</b> Base de datos para la conductancia estomática. ....	84
<b>Anexo 18.</b> Base de datos registrada por la estación meteorológica para las diferentes variables meteorológicas.....	85
<b>Anexo 19.</b> Área de estudio.....	86



## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo Marco Antonio Aucapiña Chaca en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **"Efectos de la variación del nivel de luz y lluvia en el microclima de parcelas experimentales cultivadas con Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y Rye grass (*Lolium multiflorum*) en el cantón Guachapala de la provincia del Azuay"**, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 10 de junio del 2019

Marco Antonio Aucapiña Chaca

C.I: 0105618060



### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Yo Marco Antonio Aucapiña Chaca, autor del trabajo de titulación “Efectos de la variación del nivel de luz y lluvia en el microclima de parcelas experimentales cultivadas con Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y Rye grass (*Lolium multiflorum*) en el cantón Guachapala de la provincia del Azuay”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 10 de junio del 2019

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a blue oval, is positioned above a horizontal line.

Marco Antonio Aucapiña Chaca

C.I: 0105618060

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio  
Institucional

---

Yo Christian Eduardo Cajamarca Plaza en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **"Efectos de la variación del nivel de luz y lluvia en el microclima de parcelas experimentales cultivadas con Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y Rye grass (*Lolium multiflorum*) en el cantón Guachapala de la provincia del Azuay"**, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 10 de junio del 2019



Christian Eduardo Cajamarca Plaza


C.I: 0106576358

## Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Yo Christian Eduardo Cajamarca Plaza, autor del trabajo de titulación “Efectos de la variación del nivel de luz y lluvia en el microclima de parcelas experimentales cultivadas con Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y Rye grass (*Lolium multiflorum*) en el cantón Guachapala de la provincia del Azuay”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 10 de junio del 2019



Christian Eduardo Cajamarca Plaza

C.I: 0106576358



## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad de Cuenca por habernos dado la oportunidad de estudiar y formarnos como profesionales de servicio a la comunidad. Al Dr. Edison Timbe, director de tesis, al Dr. Pablo Borja director del proyecto, Ing. Juan Pablo Ñamagua y Dr. Eduardo Chica docentes de la facultad, por la atención y todos los conocimientos compartidos durante el desarrollo práctico y teórico del presente tema de tesis; como también a la Dirección de Investigación – DIUC de la Universidad de Cuenca, por la financiación del proyecto de investigación.

Al Ing. Oswaldo Galarza encargado de la granja el romeral por facilitarnos diferentes herramientas que fueron de gran ayuda para el desarrollo del proyecto.

A nuestras compañeras: Susana Ordoñez y Tania Muñoz por su constante colaboración y el trabajo en conjunto dentro del área de estudio; a D. García, C. Castro, M. Méndez y L. Pierre, por su amistad y compañía durante la formación académica.

A nuestra familia por el apoyo incondicional en todas las instancias de nuestra vida universitaria, a nuestros amigos por los momentos maravillosos que hemos compartido.

**Marco Aucapiña - Christian Cajamarca**



## DEDICATORIA

A Dios, porque él siempre me acompaña en mí caminar por este mundo de luchas y triunfos, quien ha alumbrado cada minuto de mi existencia, porque a pesar de mis faltas siento su gran amor.

A mi madre Rosario, mi padre Adolfo, mi hijo David, todos mis hermanos, primos y amigos; por ser esos ejes fundamentales para estar en el lugar que me encuentro.

Marco Aucapiña

A Dios porque gracias a él he podido concluir con una etapa más en mi vida.

A mis padres Santiago y Cecilia por apoyarme en toda mi vida y en mis estudios y por estar siempre a mi lado, apoyándome en mis decisiones. A mi esposa Marisol, y a mi hija Camila por ser mi inspiración, por apoyarme, por su amor incondicional, por ser la razón de salir adelante, a mis hermanas por sus consejos y apoyo, por no abandonarme en los momentos más difíciles.

Christian Cajamarca





## 1. INTRODUCCIÓN

En América Latina, en las últimas décadas los esfuerzos para transformar los sistemas de ganadería tradicional hacia sistemas de producción más amigables con el medio ambiente, han sido mayormente estudiados, debido al acelerado deterioro de la biodiversidad y de bosques nativos a causa del incremento de la frontera agrícola y la deforestación; ante esto existen mecanismos de producción como los sistemas silvopastoriles que podrían recuperar las zonas degradadas y a su vez mejorar aspectos ambientales, sociales y económicos (Villacis, Chiriboga, Moreira, & Racines, 2016).

La intercepción de la radiación solar provocada por la copa de los árboles, causa efectos en los recursos de las pasturas que son de vital importancia para su desarrollo: temperatura, luminosidad y humedad del suelo, estos recursos desempeñan diferentes funciones para la producción de pastos, intervienen en el proceso fotosintético, respiración, desarrollo; y además contribuye a la retención de humedad y a la descomposición de materia orgánica (Córdoba & Hernández, 2013).

La producción ganadera está ligada a la producción de pastos. De hecho, la principal fuente de alimentación en el mundo para herbívoros domésticos está basada en este recurso. La cuarta parte de la superficie terrestre está ocupada por pastos. Un manejo adecuado de estas pasturas pueden proporcionar un excelente desarrollo nutricional y fisiológico a los animales (Noboa, 2014). Feldhake (2002) demostró que temperaturas bajas, provocadas especialmente por eventos de heladas de radiación que se presentan en los valles interandinos, limita el crecimiento y desarrollo de las pasturas y, además, provocan daños a la vegetación en cualquiera de sus estados fisiológicos, incluso cuando la temperatura del aire es suficientemente cálida como para mantener la salud de la planta. Al respecto, el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 2014) menciona que el cambio climático mundial tendrá un fuerte impacto en los recursos hídricos y en la variabilidad del clima, mediante la modificación de la temperatura y la precipitación, amenazando seriamente la productividad agrícola en muchas regiones del mundo. Este factor resulta crítico, la mayoría de agricultores, en especial en el Ecuador, dependen de una producción diaria para su subsistencia, las prioridades deben centrarse en los mecanismos que protejan a estos agricultores de futuras vulnerabilidades alimentarias, de tal manera



que se logre ajustar un modelo de resiliencia, que se adapte a los sistemas de producción agrícola existentes (Lin, 2007).

Por lo general, el manejo de ganado se da según el espacio de terreno que tenga el agricultor, el pequeño agricultor realiza sus actividades ganaderas en menos de 10 ha, su manejo no es tecnificado y utiliza los insumos internos. Los grandes productores, que usualmente tienen más de 50 ha, realizan una ganadería tecnificada y semi tecnificada, con ganado mejorado genéticamente, y dependen de los insumos externos (Haro, 2003). La región interandina del Ecuador contribuye con el 76,7% de la producción total de leche en el país, la provincia del Azuay aporta con el 9,99% de esta producción siendo la segunda provincia en aportar la mayor cantidad de leche, después de la provincia de Pichincha con un aporte de 14,3%, de esta manera la ganadería para la producción de leche predomina en la provincia del Azuay (INEC, 2012), encontrándose en mayor porcentaje el manejo de ganado criollo (54%), siendo manejado por los pequeños agricultores (Consejo Sectorial de la Producción, 2011).

En las zonas tropicales y subtropicales, a lo largo del callejón interandino, el sistema de explotación de las ganaderías lecheras es intensivo y/o semi intensivo, mientras que para los productores de carne predomina el sistema extensivo (Godoy, Perachimba, Revelo, & Túquerrez, 2012). En el Azuay el número total de cabezas de ganado entre machos y hembras es de 335,123 (INEC, 2016). De estas, las razas de ganado bovino más utilizadas en la sierra ecuatoriana son Brown swiss, Jersey, Holstein Friesian, Normanda (Vera, 2005). En cuanto a los pastos o forrajes, necesarios para la alimentación del ganado, en la eco zona templada andina que se encuentra entre 2,000 y 3,000 msnm., con temperaturas medias entre 12 y 18 °C, y precipitaciones entre 500 y 1,000 mm anuales, predominan las especies forrajeras como alfalfa (*Medicago sativa*), kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y el lupino (*Lupinus spp.*); mientras que, por encima de los 1,000 mm de lluvia anual, se produce principalmente kikuyo y rye grass (*Lolium multiflorum*, *Melinis minutiflora* y *Panicum coloratum*) (Vera, 2004).

## 2. JUSTIFICACIÓN

Existen varios sistemas que ayudan a disminuir de diferentes maneras los efectos del cambio climático, uno de ellos son los Sistemas Silvopastoriles (SSP), que son una opción para revertir los procesos de degradación provocados por eventos meteorológicos en superficies dedicadas a la producción de pastizales (Nair R, Kumar & Nair V, 2009), esto, debido a que aumentan la protección física del suelo, evitando la erosión y contribuyendo a la recuperación de su fertilidad. Generalmente, una intervención de este tipo se realiza mediante la siembra de leguminosas que fijan el nitrógeno al suelo, mientras que los árboles, a través de sus raíces pivotantes, aprovechan las capas profundas del terreno y reciclan los nutrientes (Alonso, 2011). Los SSP son una opción sostenible debido a sus atributos ecológicos, económicos y sociales (Mohan & Nair, 2011)

En el Cantón Guachapala, alrededor de 1,780 ha son utilizadas para la producción de pastos, lo que representa el 45% de la superficie total del cantón, aun cuando los suelos no son óptimos para la agricultura ya que contienen un alto grado de acidez (pH bajo), además de pendientes pronunciadas y bajas temperaturas en diferentes épocas del año (GAD Guachapala, 2014).

En sistemas ganaderos, la presencia de especies leñosas perennes puede contribuir de manera directa a la productividad del SSP pues estas regulan o contrarrestan la intensidad de factores climáticos adversos para los animales de granja. Además, indirectamente crean un microclima que favorece el crecimiento y la calidad de las pasturas (Ibrahim, 2010; Pezo & Ibrahim, 1999). Por ejemplo, en condiciones tropicales la temperatura bajo la copa de los árboles disminuye en un rango entre 2 y 9°C por debajo de la observada en áreas abiertas (Navas, 2010).

La reducción de la temperatura por la sombra de los árboles es extremadamente importante cuando la temperatura ambiental sobrepasa el límite superior del área de confort o zona de termoneutralidad. Fuera de esos límites, fallan los mecanismos homeotermos de pérdida o emisión de calor que poseen los animales y, como resultado, se produce una elevación de la temperatura corporal que afecta la productividad animal (Majid, Awang, & Jusoff, 1987).



En lo referente a la alteración de los procesos hidrológicos, conforme se incrementa la cobertura arbórea en los diferentes usos de la tierra, disminuye la escorrentía superficial y aumenta la infiltración (Ríos et al., 2006). En el mismo sentido, Auquilla & Jiménez (2005) demostraron que la calidad del agua a nivel físico-químico es baja en potreros y establos, en comparación con bosques y nacientes de agua; en dicho estudio se evidenció que la vegetación ribereña tiene un efecto positivo en la disminución de sedimentos y nutrientes que ingresan a los cursos de agua.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 *Objetivo general del proyecto (OG)*

Determinar el efecto de la variación del nivel de luz y lluvia en el microclima de parcelas experimentales cultivadas con Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y rye grass (*Lolium multiflorum*) en el cantón Guachapala de la provincia del Azuay.”

#### 3.2 *Objetivos específicos (OE)*

- Verificar la efectividad del sistema de exclusión de luz a 80, 50, 30% y lluvia a 50, 25% a nivel de pasturas.
- Evaluar la conductancia estomática a nivel de pasturas.
- Evaluar la influencia de la reducción de disponibilidad de lluvia en la temperatura y humedad del suelo a nivel de pasturas.
- Evaluar la influencia de la disponibilidad de luz en el microclima a nivel de pasturas.

### 4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Cuál es la influencia del nivel de sombra en la temperatura, humedad relativa ambiental y temperatura y humedad del suelo en pasturas?
- ¿Cuál es el efecto de la reducción de disponibilidad de lluvia y su interacción con el nivel de sombra y temperatura del suelo en pasturas?
- ¿Cuál es la efectividad del sistema de exclusión de luz calibrada a 3 niveles de exclusión (80, 50, 30%) y lluvia calibrado a dos niveles de exclusión (25 y 50 %)?
- ¿Cuál es el efecto de la reducción de disponibilidad de lluvia y luz en la conductancia estomática en pasturas?



## 5. REVISIÓN DE LITERATURA

Durante las últimas décadas, la producción ganadera ha tenido un aumento considerable en el Ecuador, observándose un incremento del 70% en la modificación de áreas para la obtención de pastos. Actualmente los sistemas de pastoreo ocupan espacios donde antes existían bosques; esta alternativa de instaurar estos nuevos sistemas ha ayudado al desarrollo social y económico del sector campesino. Entre pastos cultivados y naturales, en la provincia del Azuay existe una superficie de alrededor de 187,955 ha, lo cual corresponde a 99,633 Unidades Productivas Agropecuarias (UPAs) destinadas para actividades ganaderas, manejadas por 314,310 personas, esto equivalente a un 41.46% de la superficie cultivable del Azuay (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2013).

Según el censo publicado por el INEC en el año 2000, el 36% de las UPAs del país están destinadas a cultivos de pastos, el 9.6% de dicho porcentaje se encuentra en la provincia del Azuay; teniendo el 41.46% de su superficie dedicada esta actividad, seguida por la región costa con 39.59% y oriental con 18.94% (Haro, 2003). En la provincia del Azuay, el 90% de las fincas pertenecen a pequeños productores (89,665 UPA) con UPAs de menos de 20 ha, las fincas medianas (8,302 UPA) con una extensión de entre 20 y 100 hectáreas, comprenden el 26% de la superficie agropecuaria, mientras que las grandes extensiones agrícolas, con extensiones mayores a 100 ha (1.66 UPA), son la minoría pero comprenden el 48% de la superficie total de UPAs (Consejo Sectorial de la Producción, 2011).

### 5.1 *Sistemas Silvopastoriles*

Los sistemas silvopastoriles (SSP) son una manera de integrar animales de granja, pasto y especies leñosas perennes (arbórea o arbustos) sobre la misma superficie de terreno, y contribuyen como una alternativa a la restauración y de mantenimiento de recursos naturales, dando beneficios socioeconómicos y ecológicos (Lanza & Minnick, 1999).

Las ventajas de los sistemas silvopastoriles han sido evidenciadas por Valley (2014), quien mostró un incremento de biomasa en la macrofauna del suelo, muestreada en un sistema silvopastoril. Debido a sus beneficios, en los últimos años estos sistemas se han venido intensificando. Dentro de sus



ventajas socioeconómicas están: cultivos frutales, obtención de madera a largo plazo, derivados como leña o postes de madera para cerramientos, y alimento nutricional más balanceado para sus animales (Ibrahim, Villanueva, Casasola, & Rojas, 2006). Entre las ventajas que los sistemas agroforestales brindan al medio ambiente están: conservación y mejora de la fertilidad del suelo, reducción de la erosión, fijación de nitrógeno y reciclado de nutrientes, conservación del agua, captura de carbono, conservación de la diversidad biológica y de la belleza paisajística (Beer et al., 2003; Ríos et al., 2006).

Nair et al. (2009) recomiendan una clasificación de sistemas agroforestales estructurales y funcionales, categorizada en tres grandes grupos: (a) sistemas agrosilviculturales (árboles con cultivos); (b) sistemas silvopastoriles (árboles con ganadería): cercas vivas, pastos con árboles, bancos de proteína, integración de animales con producción de madera; y (c) sistemas agro-silvo-pastoriles (árboles con cultivos y ganadería): huertos caseros con animales, hileras de arbustos para alimentar animales, conservación del suelo y abono, producción integrada de cultivos, madera y animales (Iglesias, 1999). Según Mbow, Smith, Skole, Duguma, & Bustamante (2014), los sistemas forestales tienen un alto potencial de secuestro de carbono, contribuyendo significativamente a la mitigación del cambio climático.

En los sistemas silvopastoriles el principal factor que limita a las pasturas el crecimiento es la sombra provocada por la copa de los árboles, siendo menor bajo la copa de los árboles que a pleno sol, pero no todas las especies responden de la misma manera, las especies forrajeras denominadas C4 tienen un efecto más evidente en la sombra que las plantas C3. (Pezo & Ibrahim, 1999)

Las especies forrajeras que se ha desarrollado mejor bajo sombra son las gramíneas: *Axonopus compressus*, *Brachiaria milifomis*, *Paspalum conjugatum*, *Stenotaphru secundatur*; así como las leguminosas *Desmodium heterophyllum*, *D. ovalifolium*, y *Calopogonium caeruleum*. Los que toleran niveles intermedios de sombra están: *Brachiaria decumbens*, *B humidicola*, *B. brizantha*, *Paicum maximun*, *Setaria sphacelata*, *pennisetum purpureum*, (Reynolds, 1995)



La sombra puede provocar cambios fenológicos y morfológicos en las especies forrajeras, como reducción en el potencial fotosintético de las plantas, tienden a desarrollar hojas más largas para incrementar la recepción de luz, y menos gruesas para reducir su tasa de respiración. (Pezo & Ibrahim, 1999)

## 5.2 *Efectos esperados del cambio climático*

Cambio climático se refiere a la variación de clima que puede ser identificada a través de un largo periodo de tiempo, típicamente décadas o más, ya sea debido a la intervención humana o a procesos naturales (IPCC, 2014). Un estudio realizado por Buytaert, Céleri, & Timbe (2009) en la cuenca del río Paute, pronosticó un aumento de temperatura de 0.72 y 1.12°C, y anomalías de precipitación que varían entre 44.2 y 84 mm por año, para el periodo 2011- 2030.

Los efectos del cambio climático, como el aumento de la temperatura y el cambio de regímenes pluviales, tienen efectos directos en la producción de los cultivos y en la disponibilidad de agua de riego. Comparados con los países desarrollados, los países en vías de desarrollo se verán más afectados en el rendimiento de los cultivos. Para ciertos cultivos, el rendimiento aumentará en países desarrollados (Gerald et al., 2009).

## 5.3 *Sistemas silvopastoriles y cambio climático*

Lin (2010) ha demostrado que la inclusión de árboles en sistemas de cultivo puede modificar el microclima de las parcelas. Los árboles proveen protección de vientos fríos y proveen sombra para el ganado, además de otras ventajas: los árboles reducen la velocidad de las gotas de agua y permiten una mejor infiltración y mejora de la calidad del agua pues se previene o minimiza la erosión (USDA, 2000). Según Schütz et al. (2010) las vacas ubicadas en áreas con mayor sombra mostraron menos interacciones agresivas, mientras que la tasa de respiración aumentó en cuanto menos sombra disponían. La luz constituye una fuente vital de vida para las plantas y animales, el grado de iluminación que recibe un pastizal provoca variación en rendimiento, modifica el contenido bioquímico de su biomasa, e influye en la nutrición de las plantas (FAO, 2000).



Los árboles tienen una alta capacidad de reciclar nutrientes, obtenidos de los niveles inferiores del suelo por sus raíces primarias profundas, niveles que son inaccesibles para los pastos. Los árboles fijadores de nitrógeno pueden mejorar la fertilidad del suelo y también la producción de forraje. Los árboles reducen la velocidad del viento y producen sombra, elevando los niveles de humedad de los suelos mediante la reducción de la evaporación, además, a través de sus raíces superficiales reducen la compactación del suelo, incrementan la materia orgánica y reducen la erosión, por lo tanto, incrementan la actividad biológica del suelo. Los sistemas agroforestales pueden disminuir la absorción de la radiación solar durante el día y la pérdida de la radiación por la noche (Stigter, Ofori, Kyei-Baffour, & Walker, 2011).

#### **5.4 Factores climáticos cruciales para el desarrollo de pastos**

La temperatura es un factor importante en el desarrollo ya que afecta a la producción de hojas, tallos, y sus distintas fases. Todas estas fases de desarrollo se aceleran a medida que la temperatura aumenta entre un valor base y un óptimo. Con un buen manejo del cultivo se puede contrarrestar los problemas de las temperaturas altas y bajas. Las temperaturas bajas provocan un desarrollo más lento, y pueden causar daños irreversibles en los tejidos de las plantas, especialmente en los tejidos jóvenes, por otro lado, altas temperaturas ameritan más cuidados en los cultivos: agua y nutrientes, para evitar pérdidas, el daño ocasionado por las temperaturas altas ocasiona estrés hídrico, si el agua es un factor limitante las hojas pueden morir ya que las plantas estresadas cierran sus estomas para conservar el agua (FAO, 2001).

Otro factor que determina una buena cosecha es el agua, según Medrano et al. (2007) la producción de biomasa es imposible sin la utilización de agua, ya que la fotosíntesis y la transpiración (gasto de agua) utilizan la misma salida y entrada: los estomas de las hojas; mientras los estomas están más abiertos la entrada de dióxido de carbono es más fácil, pero la pérdida de agua es más rápida. Para la producción de un gramo de biomasa, dependiendo del tipo de planta, así como de las condiciones ambientales, se puede gastar entre 100 y 1,000g de agua. El cierre de los estomas se da por la falta de agua, provocando turgencia celular en las hojas que, junto con la aparición del ácido abscísico (ABA), cuya síntesis en las raíces provoca el aumento de la sequía, interrumpe la entrada de CO<sub>2</sub> hacia la planta.





### 5.5 *Conductancia estomática*

La conductancia estomática mide la tasa de intercambio gaseoso, es decir, consumo de dióxido de carbono y la transpiración (pérdida de agua) mediante los estomas de las hojas, dependiendo del nivel de apertura estomática y por lo tanto de la resistencia física al movimiento de gases entre el aire y el interior de la hoja; al tener la mayoría de estomas abiertos la conductancia estomática aumenta, por lo tanto la transpiración o pérdida de agua es mayor. Los valores de conductancia estomática son afectados directamente por la luz, HR, dióxido de carbono, estrés hídrico, patógeno y contaminante, de tal manera que los valores son muy variables y no existen un rango de datos estandarizados para esta variable. Pask, Pietragalla, Mullan, Chávez & Reynolds, 2013.

Según Squeo & León (2007), las plantas pierden agua través de las hojas por medio de sus estomas, esto se da a consecuencia de la actividad fotosintética de las células del mesófilo. Los estomas controlan la salida del agua, esto ocurre en respuesta a un fuerte gradiente de presión de vapor entre el aire y la hoja, con esto, ejercen el mayor control de corto plazo en las relaciones hídricas de una planta. Tanto la absorción desde suelo por la raíz, como la transpiración a través de las hojas, ejercen un control primario en la regulación de la conductancia estomática. El flujo de agua a través de la planta responde entonces a dos ambientes distintos: el ambiente aéreo, al que está expuesta la hoja, y que puede ser definido en términos de radiación, temperatura, diferencia de presión de vapor, contenido de CO<sub>2</sub>, y a la condición de la capa límite.

### 5.6 *Kikuyo (*pennisetum clandestinum*)*

Nombre común: Kikuyo, Kikuyu grass, Campin kikuyo; reino: Plantae; división: Magnoliophyta; clase: Liliopsida; orden: Poales; familia: Poaceae; subfamilia: Panicoideae; tribu: Paniceae; género: *Pennisetum*; especie: *P. clandestinum* (CABI, 2018). Especie perenne tropical, originaria de la región de África Oriental, presenta un rápido crecimiento y agresividad, de baja calidad y rico en proteína, es resistente al pisoteo. En los últimos 10 años ha tomado gran importancia, cultivada en monocultivo, así como en asociación con rye grass y tréboles (*Trifolium repens*), por su buena respuesta a la fertilización orgánica y química.



Se puede propagar vegetativamente por medio de estolones, cortados de 0.15 a 0.20 m, en cantidades que varían entre 1 y 11 toneladas por hectárea. Se adapta bien en alturas comprendidas entre 2,200 a 3,000 msnm, es tolerante a las sequías y vulnerable a las heladas. Requiere precipitaciones entre 750 mm y 1,000 mm al año (CABI, 2018).

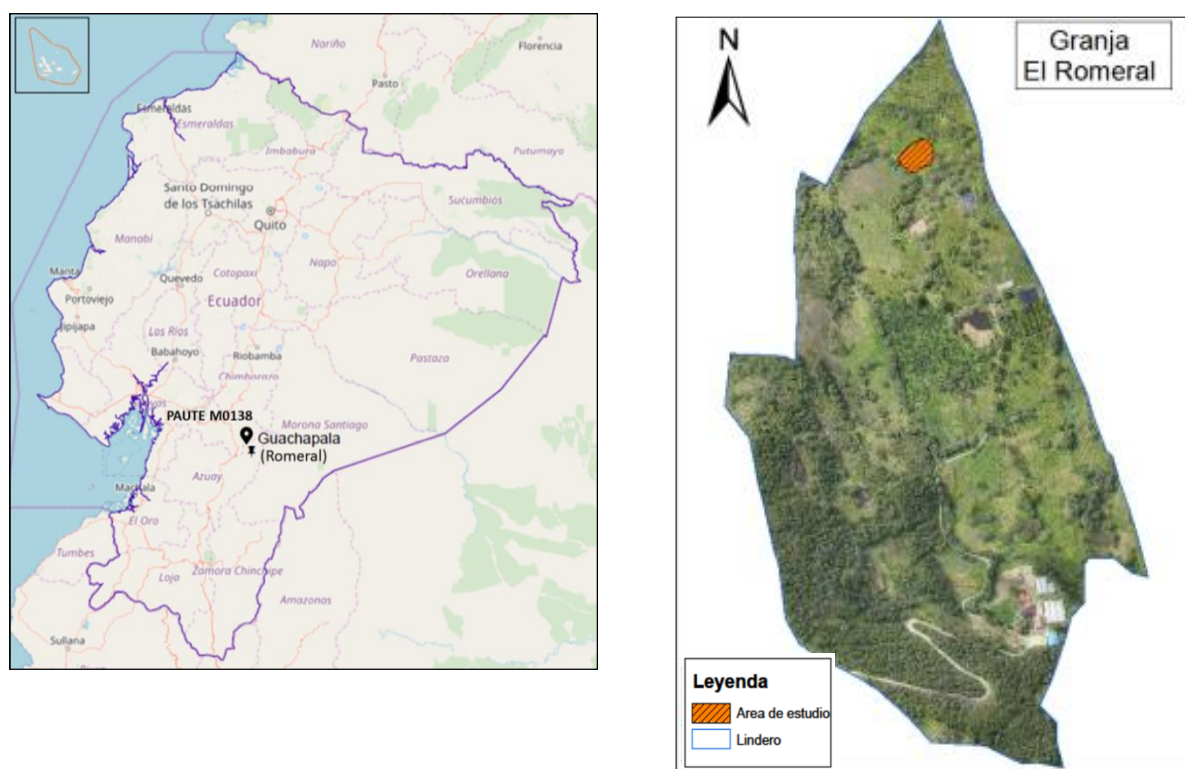
### 5.7 *Rye grass (Lolium Multiflorum)*

Nombre común: Raigrass anual o itailiano, Rye grass; reino: Plantae; subreino: Traquebionta (plastas vasculares); división: Magnoliophyta (plantas con flor); superdivisión: Spermatophyta (plantas con semillas); clase: liliopsida (monocotiledóneas); subclase: Commelinidae; orden: Cyperacene; familia: Poaceae; tribu: Poeae; género: Lolium; especie: *L. multiflorum* (CABI, 2018). Este pasto es originario del Centro y Sur de Europa, Noroeste de África y Sureste de Asia. *Lolium multiflorum* es una planta bianual, prefiere suelos con alta presencia de nutrientes, profundos, y con diferentes tipos de textura, se desarrolla a una altura de 2,000 y 3,200 msnm, requieren precipitaciones mayores a 700 mm anuales. La densidad de siembra es de 20 a 30 kg ha<sup>-1</sup> la siembra puede realizar al voleo o entre surcos separados entre 25 y 30 cm. Tolera muy bien el pastoreo (CABI, 2018).

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 *Ubicación y descripción del área de estudio*

La investigación se realizó en el cantón Guachapala situado en la parte nor-oriental de la provincia del Azuay, en la Granja experimental El Romeral de la Universidad de Cuenca, que se encuentra ubicada en el km 10 de la vía Paute – Guachapala, Latitud  $2^{\circ}45'35.6''S$  – Longitud  $78^{\circ}43'3''W$ .

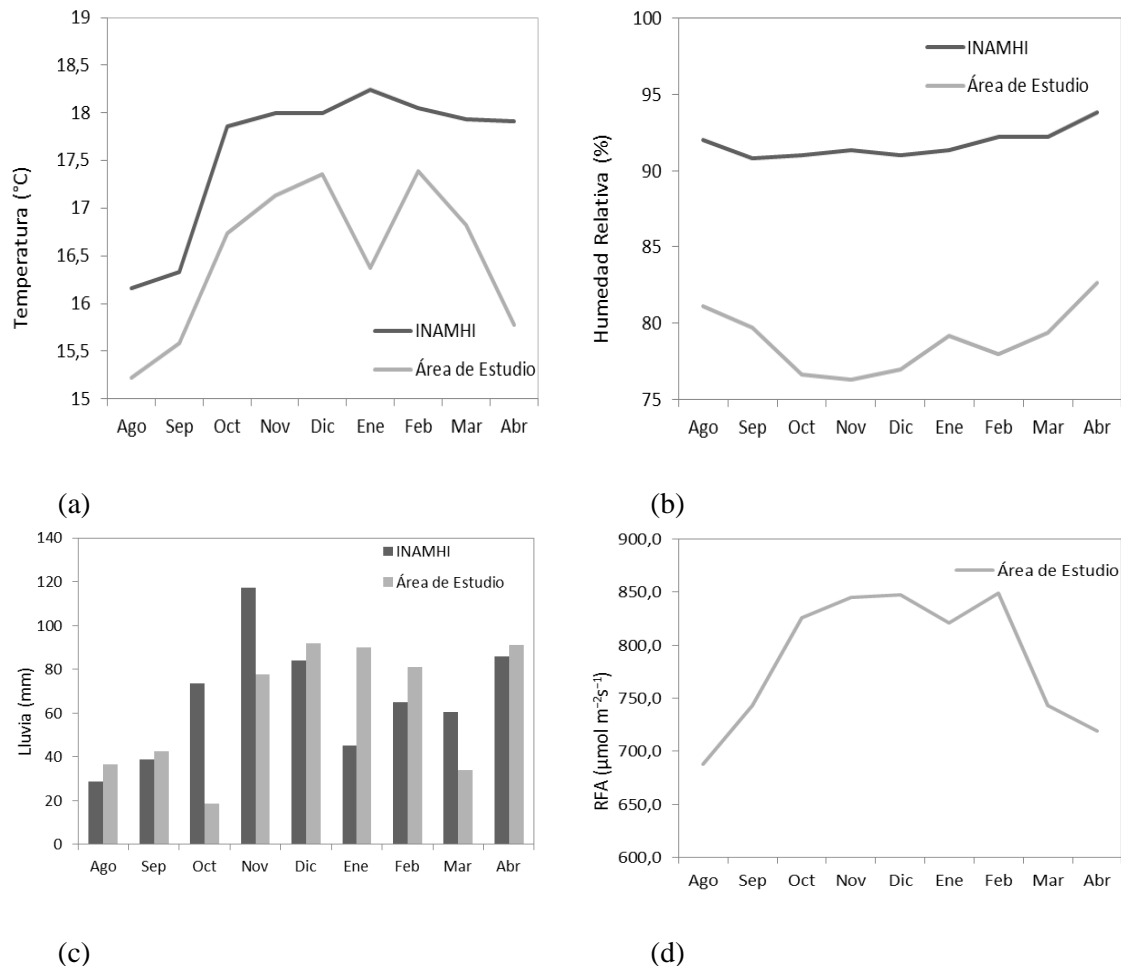


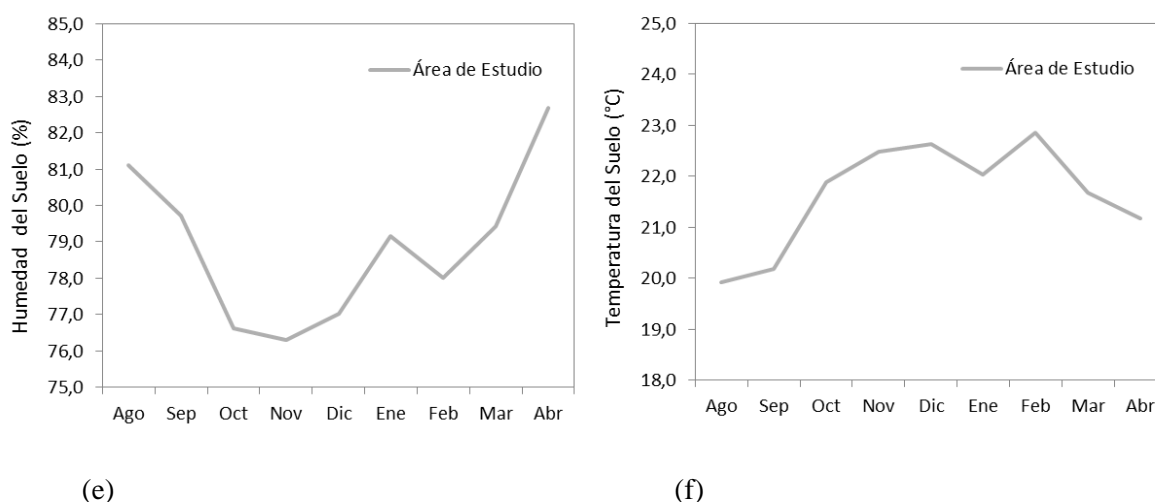
**Figura 1.** Localización del área de estudio.

### 6.2 *Características del área de estudio*

La información climática de referencia para las variables de temperatura, humedad relativa y precipitación se obtuvieron de los anuarios meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) para el periodo de 1995 hasta el 2013 correspondientes a la estación meteorológica Paute M0138 ubicada en las siguientes coordenadas geográficas Latitud  $2^{\circ}48'0''S$  – Longitud  $78^{\circ}45'46''W$ , a una altura de 2,194 msnm, a 10 km de distancia del área de estudio, las demás

variables meteorológicas no presentan registros históricos; la información meteorológica incidente dentro del área de estudio fue recopilada por sensores climáticos instalados dentro del proyecto, desde agosto 2017 hasta abril 2018. En la figura 2 se observa los valores promedios mensuales de temperatura del aire: INAMHI promedio = 17.5 °C, sitio de estudio promedio = 16.5 °C; humedad relativa (HR): INAMHI promedio = 91.7%, sitio de estudio promedio = 78.9%; precipitación: INAMHI total = 598.5 mm, sitio de estudio total = 563.1 mm, radiación fotosintéticamente activa: sitio de estudio promedio = 786.8  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , humedad del suelo sitio de estudio promedio = 21.6%, temperatura del suelo en el sitio de Estudio promedio = 21.6 °C.





**Figura 2.** Información meteorológica del área de estudio. (a) Temperatura ambiente, (b) Humedad relativa (HR), (c) Precipitación, (d) Radiación Fotosintética Activa (RFA), (e) Humedad del suelo, (f) Temperatura del suelo.

### 6.3 Características edáficas del área de estudio

La información de los parámetros físico-químicos del suelo fueron obtenidos de los análisis realizados previo al experimento, estos datos se encuentran en los reportes del proyecto para la DIUC, la información obtenida presenta valores de cada una de las parcelas con la finalidad de verificar la uniformidad del área de estudio.

El tipo de suelo predominante dentro del área de estudio corresponde a un Vertisol, sus principales características son: arcillas pesadas, revueltas con una alta proporción de arcillas expandibles; la estructura del suelo es de tipo granular y masiva; la textura es franco arcillo limoso (FAL) y franco arcilloso (FA).

Los valores en promedio del contenido de humedad del suelo y su potencial capilar (pF) del área de estudio son: saturación (pF0) = 0.58; capacidad de campo (pF2.5) = 0.35 y punto de marchitez (pF4.2) = 0.22 (Anexos 1 y 2). Los valores promedio para las características químicas del área de estudio para los macro elementos de N, P y K son: 18.6 ppm, 35.8 ppm y 0.65 ppm respectivamente, el valor de pH promedio es de 7.1 (Anexos 3 y 4).



#### **6.4      *Duración de la investigación y especificación de las variables a evaluarse***

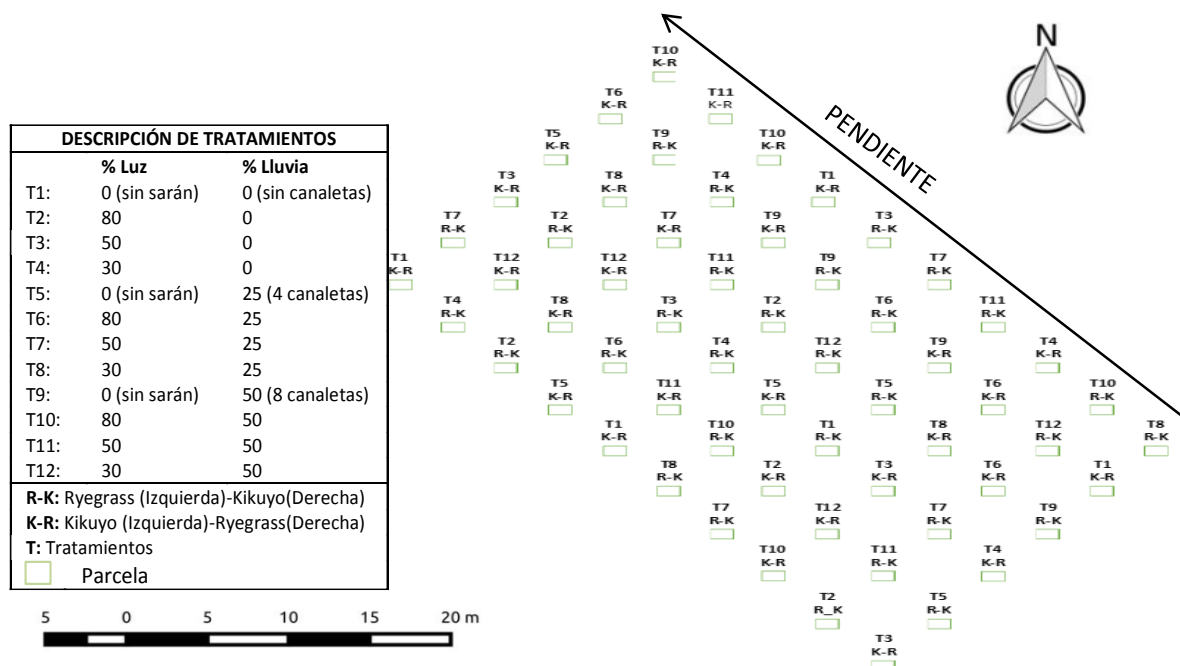
La fase de campo del proyecto inicio el mes de agosto del año 2017 y culminó en el mes de abril del año 2018. Para obtener mayor confiabilidad del muestreo y conocer si existe un comportamiento diferente, con respecto a la maduración fisiológica de los pastos, se realizaron 3 cortes en periodos de 45 días cada uno, posteriores al corte de igualación que se realizó luego de la siembra; las variables independientes fueron: luz, lluvia y su interacción; se controló estas variables en 2 niveles de agua y 3 niveles de luz para evaluar sus respuestas.

Las variables dependientes fueron: temperatura, radiación fotosintéticamente activa, lluvia, humedad y temperatura del suelo, estas variables fueron monitoreadas a nivel de parcela. La conductancia estomática fue medida en diferentes momentos para la evaluación de la influencia de las variables independientes, luz y lluvia, sobre el comportamiento de los pastos.

#### **6.5      *Especificación del diseño de campo***

El área total del diseño experimental fue de 900 m<sup>2</sup>, dentro del cual se distribuyó, de manera aleatorizada, las parcelas de 4 m<sup>2</sup> con sus respectivos tratamientos (Fig. 3), divididas en subparcelas de 2 m<sup>2</sup> cada una.

### DISTRIBUCIÓN DE TRATAMIENTOS

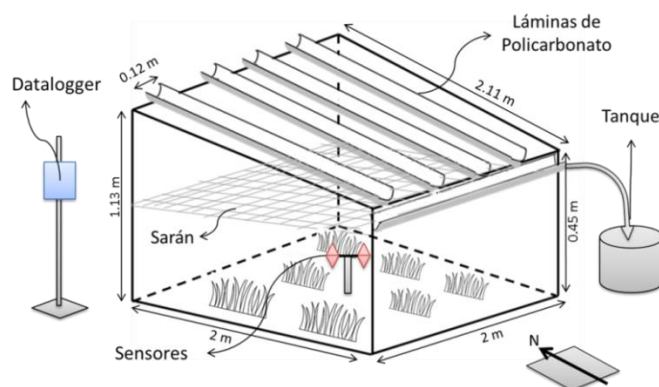


**Figura 3.** Distribución de tratamientos.

Los porcentajes de luz y lluvia indicados en la leyenda corresponden a porcentajes de reducción con respecto al control (0% de reducción). La pendiente del área de estudio es uniforme, en promedio 10%.

#### 6.6 Sistema de exclusión de lluvia y luz en parcelas

El sistema de exclusión de lluvia para este proyecto es una adaptación al utilizado por Yahdjian & Sala (2002), constó de un marco de madera de 2 x 2 m en su parte inferior, en su parte superior de 2 x 2.11 m, que sostiene láminas de policarbonato transparente, de 0.125 m de ancho, ubicadas de forma cóncava de manera que capten el agua lluvia dentro de la parcela (Fig. 4). En su parte más alta, la estructura tiene una altura de 1.13 m y en su parte más baja de 0.45 m, garantizando el desplazamiento del agua colectada hacia los tanques, en los cuales se midió el volumen de agua y se verificó la efectividad del sistema de exclusión de lluvia. Las estructuras fueron colocadas en sentido norte - sur y a una distancia de 3 m a manera de que la sombra proyectada por las estructuras no modifique los demás tratamientos.



**Figura 4.** Sistema de exclusión de luz y lluvia en las parcelas.

El estudio consideró 2 niveles de exclusión de lluvia (25 y 50%) y un testigo (0% de exclusión = 100% lluvia). El porcentaje de exclusión de lluvia fue definido por la cantidad de láminas de policarbonato transparente ubicadas en cada estructura. De esta manera, las estructuras para reducción del 25% y 50% constaron con 4 y 8 láminas de policarbonato transparente, respectivamente; la modificación de la luz disponible en las parcelas se realizó mediante el uso de malla sombra (sarán). También se probaron 3 niveles de reducción de luz (30, 50 y 80%) y un testigo (0% de exclusión = 100% de exposición). Esta malla se colocó en posición horizontal a 0.45 m de altura, utilizando el marco de la estructura de exclusión de lluvia (Fig. 4).

**Tabla 1.** Especificación de los tratamientos

Tratamientos	Exclusión (%)	
	Luz	Lluvia
T1 <sub>0-0</sub>	0	0
T2 <sub>80-0</sub>	80	0
T3 <sub>50-0</sub>	50	0
T4 <sub>30-0</sub>	30	0
T5 <sub>0-25</sub>	0	25
T6 <sub>80-25</sub>	80	25
T7 <sub>50-25</sub>	50	25
T8 <sub>30-25</sub>	30	25
T9 <sub>0-50</sub>	0	50
T10 <sub>80-50</sub>	80	50
T11 <sub>50-50</sub>	50	50
T12 <sub>30-50</sub>	30	50





**Figura 5.** Unidad experimental

### 6.7 Instalación de parcelas

Para este proyecto se contó con un total de 12 tratamientos (Tabla 1), cada uno con 5 repeticiones, 60 parcelas de 4 m<sup>2</sup> cada una. La parcela fue dividida en dos subparcelas de 2 m<sup>2</sup> cada una, en las cuales los dos tipos de pastos se establecieron de manera aleatoria: kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y rye grass (*Lolium multiflorum*), respectivamente (Fig. 5).

Se realizó la ubicación y delimitación del área de estudio, en la parte baja de la granja experimental El Romeral, a continuación, con la utilización de postes de madera y alambre de púas, se procedió a cercar toda el área circundante al experimento. Previo a la siembra de los pastos, se realizó una poda y raleo de árboles alrededor del terreno, ya que estos alteraban las condiciones de luz. Las labores de preparación del terreno incluyeron un arado de discos y el mullido del terreno mediante un motocultor, de esta manera se logró homogenizar el terreno y obtener partículas de suelo de tamaño pequeño.

Para la instalación de las 60 parcelas se procedió a delimitar áreas de 2x2 m y luego a dividir las en subparcelas de 1x2 m, finalmente se procedió al surcado; el trazado de las parcelas se realizó con estacas, piolas y cinta métrica, seguido de esto se elaboraron zanjias para el drenaje de agua; los pastos, tanto kikuyo como el rye grass, fueron implementados en cada una de las subparcelas de manera separada (Fig. 5) con el objetivo de contar con las dos especies bajo las mismas condiciones. La siembra



del kikuyo se realizó mediante el uso de estolones recolectados en la granja (El Romeral); los estolones contaron con 3 a 4 yemas para su siembra. Se utilizó una distancia entre estolones de 15 cm y entre surcos de 20 cm; en el caso del pasto rye grass, se utilizó semillas certificadas y se realizó la siembra en hileras a chorro continuo, utilizando una densidad de  $75 \text{ kg ha}^{-1}$ , recomendada por la casa comercial proveedora de este tipo de cultivo. La siembra de las dos especies forrajeras se realizó un mes antes de la instalación de las estructuras de exclusión de lluvia y luz. Para garantizar su germinación y crecimiento uniforme, se procedió a instalar un sistema de riego por aspersión, el cual se suministró a diario durante los primeros 15 días. Posteriormente al establecimiento de las dos especies de pasto, se instalaron las estructuras de exclusión de lluvia y luz, al igual que los sensores meteorológicos, para dar inicio al monitoreo.

#### **6.8 Monitoreo de variables**

Dentro de cada parcela se monitoreó: (i) temperatura y humedad relativa ambiental (Sensor VP-3), este sensor cuenta con circuitos Sensirion que ayudan a monitorear de una manera precisa la humedad relativa (HR); (ii) radiación fotosintéticamente activa (RFA) (Sensor PAR APOGEE QSO-S PAR), este sensor tiene un rango de visión de  $180^\circ$  y mide el flujo fotónico fotosintético (PPF) en  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , también nos da datos más confiables ya que el disco de difusión está compuesto de pigmentos; el sensor está diseñado para ser utilizado en exteriores y es capaz de resistir fuertes precipitaciones y estar bajo el agua; (iii) la humedad y temperatura del suelo (Sensor 5 TM), en grados Celsius ( $^\circ\text{C}$ ), son medidos por un termistor.

El contenido volumétrico de agua (VWC) en  $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ , es estimado a través de la constante dieléctrica del suelo, para esto, utiliza la tecnología de capacitancia/dominio de frecuencia; el filtrado de señal minimiza la salinidad y los efectos de textura, lo que ayuda para que se pueda utilizar en la mayoría de los suelos. Este sensor determina el total de agua, en volumen, en comparación con el volumen total del suelo.

Para la verificación del sistema de exclusión de lluvia se realizó el cálculo del área cubierta por las láminas de policarbonato, considerando la inclinación de las mismas, se procedió al análisis de los



datos de volúmenes de agua recolectados por los tanques, en diferentes eventos de lluvia, y se los correlacionó con los datos obtenidos por el pluviógrafo de tal manera que, al comprobar que existía una correlación lineal con un  $R^2$  aproximado a 1, se realizó una regla de 3 para verificar el porcentaje real de cada uno de los niveles de exclusión.

### **6.9      *Monitoreo de la conductancia estomática***

Para el monitoreo de la conductancia estomática se utilizó un sensor portable, porómetro Decagon (g) Sensor (SC-1), que mide la conductancia estomática ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) de las hojas. El monitoreo de la conductancia estomática se realizó en periodos de 15 días para cada uno de los pastos, y consistió en seleccionar una planta que estaba ubicada en la parte media de la subparcela, etiquetarla e identificar las hojas más jóvenes que haya emergido completamente, que tengan un ancho mayor a los 10 mm, medida que cubre el sensor las hojas seleccionadas debían estar completamente limpias, secas, intactas, verdes, sin signos de daños o enfermedades.

Para conseguir el registro de la conductancia se colocó la hoja sobre el sensor durante un tiempo aproximado de 3 minutos, la toma de datos se realizó entre las 11:00h y las 14:00h debido a que en este periodo del día es en donde existe mayor actividad estomática (Pérez, Pineda, Latournerie, Pam, & Godoy, 2008), para esto, las condiciones ambientales no debían tener presencia de lluvias en las horas anteriores ni durante el monitoreo, en total se tomaron 180 lecturas por corte, para cada una de las especies de pasto.

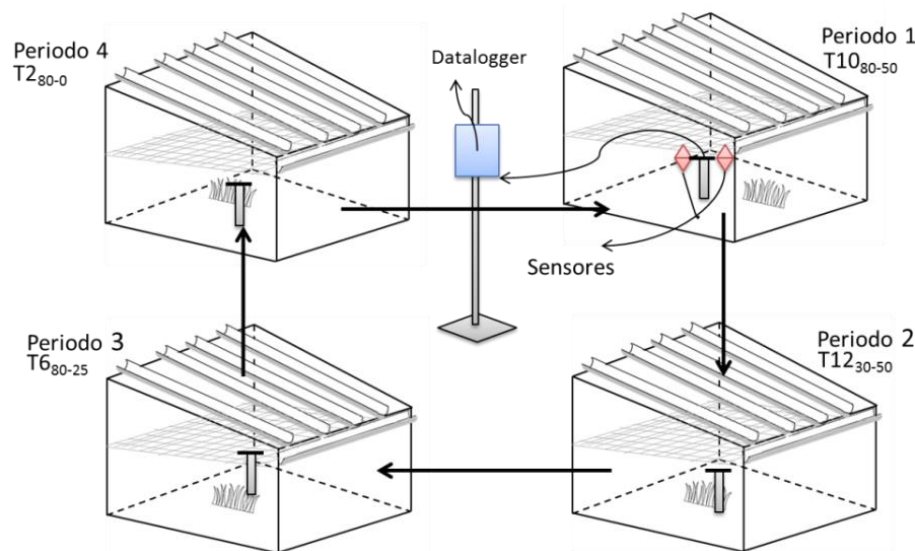
### **6.10      *Monitoreo de la precipitación***

En la estructura fija, además de las variables arriba mencionadas, se instaló un pluviógrafo (Sensor ECRN -100) que permitió registrar los eventos de lluvia, la contabilización de lluvia en las parcelas con modificación de esta variable se realizó mediante la recolección por medio de las canaletas de exclusión y almacenada en tanques de plástico con una capacidad de 50 L, los cuales fueron monitoreados cada 4 días o de acuerdo a su capacidad de almacenamiento en eventos de alta intensidad de lluvia.

### 6.11 Monitoreo de la temperatura y humedad relativa

Para medir temperatura del aire, humedad relativa ambiental, radiación fotosintéticamente activa (RFA) y la humedad y temperatura del suelo, tres juegos de sensores meteorológicos (marca DECAGON), fueron colocados en tres estructuras metálicas, una de ellas se instaló de forma fija en la parcela testigo ( $T1_{0-0}$ ), mientras que las otras dos estructuras fueron móviles, instaladas dentro de las parcelas en las que se modificó la luz y lluvia disponible.

Las estructuras móviles fueron rotadas, por cada uno de los 11 tratamientos (Fig. 6), en periodos de 4 días, con la finalidad de obtener 2 lecturas en diferentes instancias en un mismo tratamiento durante los 45 días antes de cada corte. El registro de datos de cada sensor se realizó con una frecuencia de 5 minutos, debido a que existen eventos meteorológicos que tienen duraciones cortas; mensualmente, cada uno de los sensores recopiló una cantidad de 8,064 datos que fueron almacenados en tres dataloggers; la descarga de datos se realizó con una frecuencia de 15 días.



**Figura 6.** Rotación de las estaciones meteorológicas en 4 periodos.



**Figura 7.** Sensores instalados en las parcelas: RFA, temperatura y humedad relativa ambiental, temperatura y humedad del suelo.

#### **6.12 Monitoreo de la temperatura y humedad del suelo**

La temperatura y humedad del suelo (contenido volumétrico de agua en el suelo) se registraron mediante la colocación de sensores (FDR) a una profundidad de 0.10 m, que es en donde se desarrolla el mayor porcentaje de la rizosfera de las pasturas. El objetivo de este monitoreo es tener información de la variación temporal de la humedad del suelo y de la influencia de los diferentes niveles de sombra y exclusión de lluvia en esta variable. En el transcurso de la investigación se realizó la calibración de FDR, que consistió en recolectar 3 muestras de suelo de cada sensor durante 4 periodos distintos en un radio de 20 cm de aproximación a cada sensor. Las muestras fueron almacenadas en anillos de Kopecky y analizadas en laboratorio, en donde se procedió a pesar las muestras húmedas de suelo para luego, con la utilización de una estufa a una temperatura de 105 °C durante 24 horas, obtener el peso seco para su posterior análisis. Los datos, obtenidos en laboratorio, de peso húmedo, peso seco y densidad aparente de las muestras de suelo para la calibración de los sensores FDR, fueron analizados para obtener: el valor de la humedad real y conocer la dispersión de los puntos con respecto a la recta, la ecuación de ajuste de la recta se utilizó para calibrar los datos registrados por los sensores, finalmente, la bondad de los ajustes fue obtenida a través del coeficiente de determinación ( $R^2$ ).



### **6.13      *Mantenimiento de parcelas***

El mantenimiento de las parcelas se realizó cada 45 días, posteriores al corte del pasto. El mantenimiento consistió en la limpieza de zanjas, eliminación de malezas del área circundante y, dentro de las estructuras, con la utilización de la desbrozadora agrícola. También se realizó un mantenimiento permanente de las estructuras ya que, debido al sol y la lluvia, estas se deterioraban rápidamente; el mantenimiento de los equipos de medición se los realizó en periodos de 15 días, para evitar datos erróneos debido a posibles interferencias, generalmente provocadas por la presencia de insectos, que interrumpen un normal funcionamiento de los equipos.

### **6.14      *Diseño experimental y análisis estadístico***

En el experimento se utilizó un diseño de bloques completamente aleatorizados de 2 factores (DBA), los datos obtenidos fueron analizados en el programa estadístico R. Para el análisis estadístico de los datos recopilados, utilizados para los objetivos específicos: b, c y d, se procedió de la siguiente manera: se consideró el análisis por separado para las variables independientes luz , lluvia y su interacción, (i) para conocer si el número de muestras provienen de una población con varianzas similares, se realizó un análisis de normalidad con la utilización de la prueba de Shapiro, al comprobarse este supuesto es decir que los valores son no significativos ( $> 0.05$ ), (ii) se procedió a verificar la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Bartlett, de esta manera si se cumplían estos supuestos es decir que los valores son no significativos ( $> 0.05$ ), (iii) se procedió el análisis con la utilización de la estadística paramétrica y se realizó la prueba ANOVA para identificar el comportamiento de los diferentes tratamientos, al realizar esta prueba y detectar que existen diferencias significativas se empleó la prueba de comparación múltiple de medias Tukey al 5%, de esta manera identificamos cuales son los tratamientos con diferencia estadística; (iv) en el caso de los datos que no cumplan con los supuestos de normalidad y homogeneidad, es decir, presentan valores de significancia de la prueba de Shapiro Wilks  $< 0.05$ , se continuó el análisis con estadística no paramétrica, empleando la prueba de Kruskal Wallis para comprobar si los datos obtenidos provienen de una misma población y verificar significancias; y, (v) para los análisis que presentaron significancia se realizó la prueba de Wilcoxon con el propósito de determinar cuáles son los tratamientos diferentes.





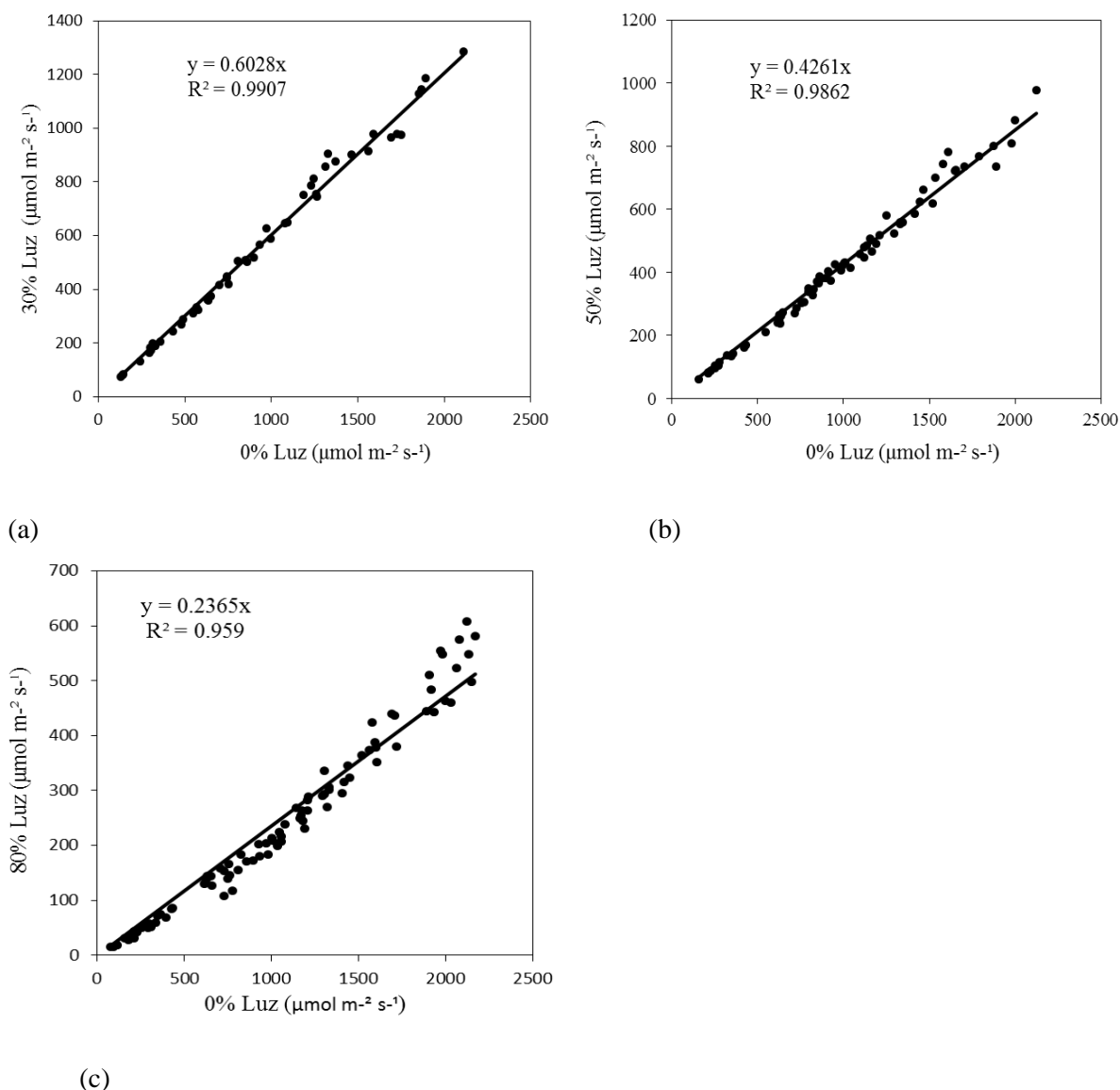
Los datos obtenidos para el análisis de la conductancia estomática se procesaron de la siguiente manera: las 5 repeticiones de cada uno de los tratamientos fueron promediadas, y, para cada uno de los muestreos quincenales, estos datos fueron analizados en conjunto (3 muestreos) por cada corte. Para este análisis, en el caso de detectarse diferencias significativas en alguno de los cortes, se procedió a realizar el análisis por separado para cada uno de los tres muestreos, de esta manera se identificó cual es el muestreo y tratamiento que presenta significancia, para cada especie de pasto, y se procedió con el análisis estadístico descrito en el párrafo anterior.

Para el análisis de los objetivos que contemplan las variables meteorológicas a nivel de parcela: humedad relativa, temperatura ambiental, humedad y temperatura del suelo y precipitación, se recopiló la información desde el inicio de la investigación hasta su culminación, los datos obtenidos con una resolución de 5 minutos, fueron promediados cada 6 horas, de esta manera el número de datos fue reducido; también se realizó un análisis en periodos puntuales en donde las condiciones ambientales monitoreadas variaban, por ejemplo durante épocas lluviosas o secas en donde las variables presentaron comportamientos atípicos, de acuerdo a sus tratamientos, para estos eventos los datos fueron promediados a nivel horario.

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Verificación de la efectividad del sistema de exclusión de luz a 30, 50, 80% y de lluvia a 25, 50% a nivel de pasturas

#### 7.1.1 Efectividad del sistema de exclusión de luz a 30, 50 y 80% en pasturas



**Figura 8.** Sistema de Exclusión de Luz en 3 niveles: 30% (a), 50% (b) y 80% (c), eje X:  $T_{0-0}$  representa el tratamiento testigo ( $T_{0-0}$ ), eje Y: representa los tratamientos con exclusión de luz.

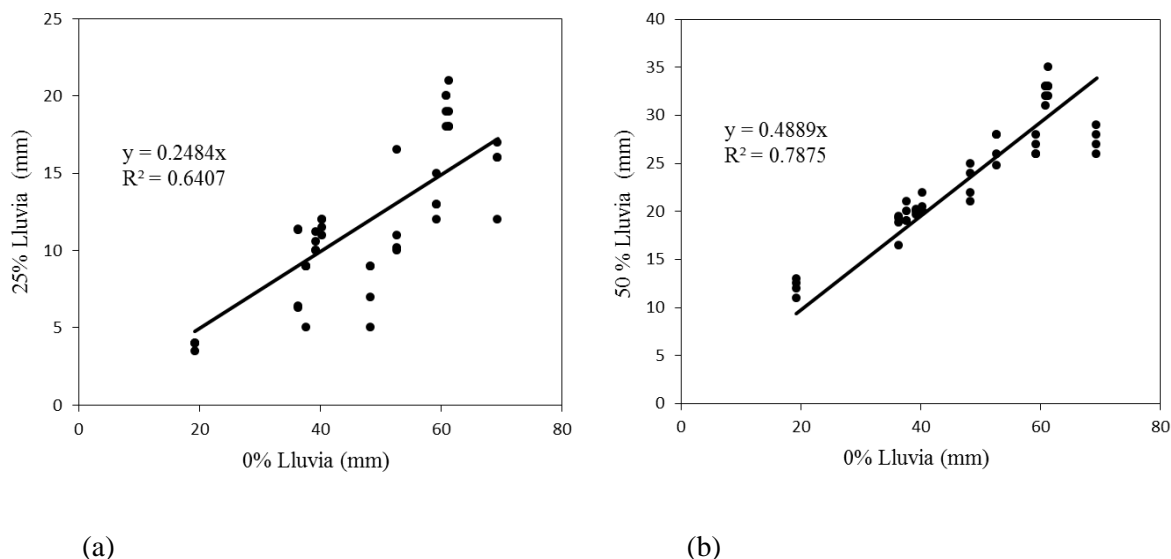
La verificación de la exclusión de luz se realizó mediante los datos obtenidos por los sensores de RFA, estos datos indican que los tres niveles de exclusión de luz (30, 50 y 80%) tienen una alta correlación lineal con el testigo ( $T_{0-0}$ ). Para tratamientos con una exclusión de luz del 30% (Fig. 8a), la disminución presentó los siguientes valores: promedio = 41%, mínimo = 35%, máximo = 47%. Para



el 50% de exclusión los valores fueron: promedio = 59%, mínimo = 53%, máximo = 63% (Fig. 8b).

Para el 80% de exclusión se registraron: promedio = 79%, mínimo = 71%, máximo = 86% (Fig. 8c).

### 7.1.2 Efectividad del sistema de exclusión de lluvia a 25 y 50%, en pasturas



**Figura 9.** Sistema de Exclusión de Lluvia en 2 niveles: 25% (a) y 50% (b), eje X: representa el tratamiento testigo (T<sub>0-0</sub>), eje Y: representa los tratamientos con exclusión de lluvia.

La verificación de la exclusión de lluvia se realizó mediante los datos registrados por el pluviógrafo para el testigo (T<sub>10-0</sub>) y los datos de los colectores de lluvia precipitada para los tratamientos con exclusiones del 25 y 50% (Fig. 9). La correlación entre estos dos niveles de exclusión de lluvia y el testigo, indican coeficientes de determinación ( $R^2$ ) de 0.648 y 0.835, respectivamente. La verificación del valor de la exclusión, con respecto al valor teórico supuesto de 25% de exclusión (Fig. 9a) fue en promedio de 24% (mín=17%, máx= 32%), mientras que para el valor teórico de 50% de exclusión fue en promedio de 56% (mín=51%, máx=63) (Fig. 9b).

## 7.2 Conductancia estomática (CE) a nivel de pasturas

### 7.2.1 Conductancia estomática en los pastos rye grass y kikuyo primer corte

**Tabla 2.** ANOVA para la conductancia estomática del Rye grass.

Lluvia		Luz		Interacción	
Tratamiento	$\bar{X} \pm EE$	Tratamiento	$\bar{X} \pm EE$	Tratamiento	$\bar{X} \pm EE$
T1 <sub>0-0</sub>	32.9 $\pm$ 4.2	T1 <sub>0-0</sub>	32.9 $\pm$ 4.2	T6 <sub>80-25</sub>	30.4 $\pm$ 2.8
T5 <sub>0-25</sub>	31.1 $\pm$ 5.4	T4 <sub>30-0</sub>	35.9 $\pm$ 4.3	T7 <sub>50-25</sub>	28.6 $\pm$ 2.7
T9 <sub>0-50</sub>	28.2 $\pm$ 2.7	T3 <sub>50-0</sub>	31.4 $\pm$ 4.2	T8 <sub>30-25</sub>	32.8 $\pm$ 4
		T2 <sub>80-0</sub>	30.1 $\pm$ 3.1	T10 <sub>80-50</sub>	26.9 $\pm$ 2.9
				T11 <sub>50-50</sub>	34.7 $\pm$ 3.2
				T12 <sub>30-50</sub>	27 $\pm$ 2.9
<b>Valor p</b>	ns		ns		ns

T: tratamientos, Subíndice primera cifra: porcentaje de luz, Subíndice segunda cifra: porcentaje de lluvia,  $\bar{X}$ : media, EE: error experimental, Valor p: nivel de significancia, ns: no significativo, prueba de Tukey al 5%, conductancia estomática ( $\mu\text{mol}_m^{-2}\text{s}^{-1}$ ).

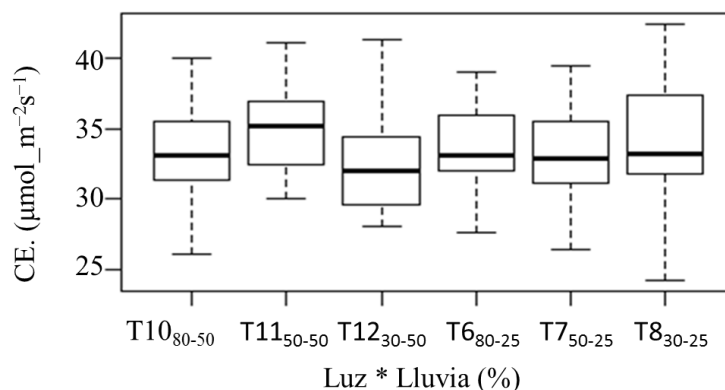
En el análisis de varianza (ANOVA) al 5% de significancia ( $\alpha=0.05$ ) de la conductancia estomática del Rye grass (Primer Corte) no existe diferencias estadísticamente significativas detectables para los factores de Lluvia, Luz y su Interacción (Tabla 2), lo que nos demuestra que estos tratamientos son similares en el primer corte del experimento.

**Tabla 3.** Kruskal-Wallis para la CE del Kikuyo.

Lluvia		Luz		Interacción	
Tratamiento	Me $\pm$ EE	Tratamiento	Me $\pm$ EE	Tratamiento	Me $\pm$ EE
T1 <sub>0-0</sub>	87.7 $\pm$ 21.9	T1 <sub>0-0</sub>	87.7	T6 <sub>80-25</sub>	46.7 $\pm$ 8.7
T5 <sub>0-25</sub>	65.7 $\pm$ 17.9	T4 <sub>30-0</sub>	60.1	T7 <sub>50-25</sub>	64.2 $\pm$ 11.7
T9 <sub>0-50</sub>	18.1 $\pm$ 18.1	T3 <sub>50-0</sub>	67.4	T8 <sub>30-25</sub>	58.1 $\pm$ 15.4
		T2 <sub>80-0</sub>	71.8	T10 <sub>80-50</sub>	50.3 $\pm$ 6.7
				T11 <sub>50-50</sub>	49.3 $\pm$ 11.2
				T12 <sub>30-50</sub>	56.6 $\pm$ 14.3
<b>Valor p</b>	ns		ns		ns

T: tratamientos, Subíndice primera cifra: porcentaje de luz, Subíndice segunda cifra: porcentaje de lluvia, Me: mediana, EE: error experimental, Valor p: nivel de significancia, ns: no significativo, CE ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ).

En la CE del Kikuyo se realizó el análisis con la prueba de Kruskal-Wallis al 5% de significancia ( $\alpha=0.05$ ), en la cual no se encontró significancia en ninguno de los tratamientos (Tabla 3), esto muestra que los tratamientos son similares en el primer corte del experimento.



**Figura 10.** Conductancia estomática del rye grass interacción luz-lluvia.

El análisis de los tratamientos que cuentan con interacciones Luz\*Lluvia (Fig. 10) presentan la mediana más alta de conductancia estomática en el tratamiento T11<sub>50-50</sub>, con un valor de 36.33  $\mu\text{mol}_m^{-2}\text{s}^{-1}$ , teniendo como la mediana más baja al tratamiento T12<sub>30-50</sub> con un valor de 33.04  $\mu\text{mol}_m^{-2}\text{s}^{-1}$ , siendo estadísticamente todos los resultados no significativos.

## 7.2.2 Conductancia estomática en los pastos rye grass y kikuyo segundo corte

**Tabla 4.** ANOVA para la conductancia estomática del rye grass.

Lluvia		Luz		Interacción	
Tratamiento	$\bar{X} \pm \text{EE}$	Tratamiento.	$\bar{X} \pm \text{EE}$	Tratamiento	$\bar{X} \pm \text{EE}$
T1 <sub>0-0</sub>	50.2 $\pm$ 3.9	T1 <sub>0-0</sub>	50.2 $\pm$ 4.8	T6 <sub>80-25</sub>	37.6 $\pm$ 5.2
T5 <sub>0-25</sub>	31.7 $\pm$ 2.6	T4 <sub>30-0</sub>	31.3 $\pm$ 3.8	T7 <sub>50-25</sub>	30.3 $\pm$ 2.9
T9 <sub>0-50</sub>	44.7 $\pm$ 10.1	T3 <sub>50-0</sub>	50.6 $\pm$ 9.7	T8 <sub>30-25</sub>	49.4 $\pm$ 12.1
		T2 <sub>80-0</sub>	53.8 $\pm$ 12.1	T10 <sub>80-50</sub>	37.3 $\pm$ 6.5
				T11 <sub>50-50</sub>	29.9 $\pm$ 2.9
				T12 <sub>30-50</sub>	24.8 $\pm$ 3.6
<b>Valor p</b>	*		ns		ns

T: tratamientos, Subíndice primera cifra: porcentaje de luz, Subíndice segunda cifra: porcentaje de lluvia, X: media, EE: error experimental, Valor p: nivel de significancia, ns: no significativo,

\*: significativo, prueba de Tukey al 5%, CE ( $\mu\text{mol}_m^{-2}\text{s}^{-1}$ ).

En el análisis de varianza (ANOVA) con  $\alpha=0.05$  de significancia, de la conductancia estomática del Rye grass (Segundo Corte) (Tabla 4), no existen diferencias estadísticamente significativas

detectables para los factores de Luz y su Interacción lo que nos demuestra que estos tratamientos son similares en el Segundo Corte, mientras que el factor Lluvia muestra un valor  $p$  significativo de 0.046\* por lo que se procede a verificar qué muestreos son significativos.

**Tabla 5.** ANOVA para la conductancia estomática del kikuyo.

Lluvia		Luz		Interacción	
Tratamiento	$\bar{X} \pm EE$	Tratamiento.	$\bar{X} \pm EE$	Tratamiento	$\bar{X} \pm EE$
T1 <sub>0-0</sub>	116.9 $\pm$ 14.8	T1 <sub>0-0</sub>	116.9 $\pm$ 14.8	T6 <sub>80-25</sub>	83.4 $\pm$ 14.4
T5 <sub>0-25</sub>	93.2 $\pm$ 21.8	T4 <sub>30-0</sub>	138.1 $\pm$ 19.1	T7 <sub>50-25</sub>	116.5 $\pm$ 12.1
T9 <sub>0-50</sub>	157.9 $\pm$ 15.6	T3 <sub>50-0</sub>	129.1 $\pm$ 15.2	T8 <sub>30-25</sub>	116.3 $\pm$ 12.9
		T2 <sub>80-0</sub>	106.2 $\pm$ 12.9	T10 <sub>80-50</sub>	90.7 $\pm$ 10.9
				T11 <sub>50-50</sub>	25.4 $\pm$ 20.5
				T12 <sub>30-50</sub>	109 $\pm$ 13.8
<b>Valor p</b>	*		ns		ns

T: tratamientos, Subíndice primera cifra: porcentaje de luz, Subíndice segunda cifra: porcentaje de lluvia,  $\bar{X}$ : media, EE: error experimental, Valor p: nivel de significancia, ns: no significativo, \*: significativo, prueba de Tukey al 5%, Conductancia estomática ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ).

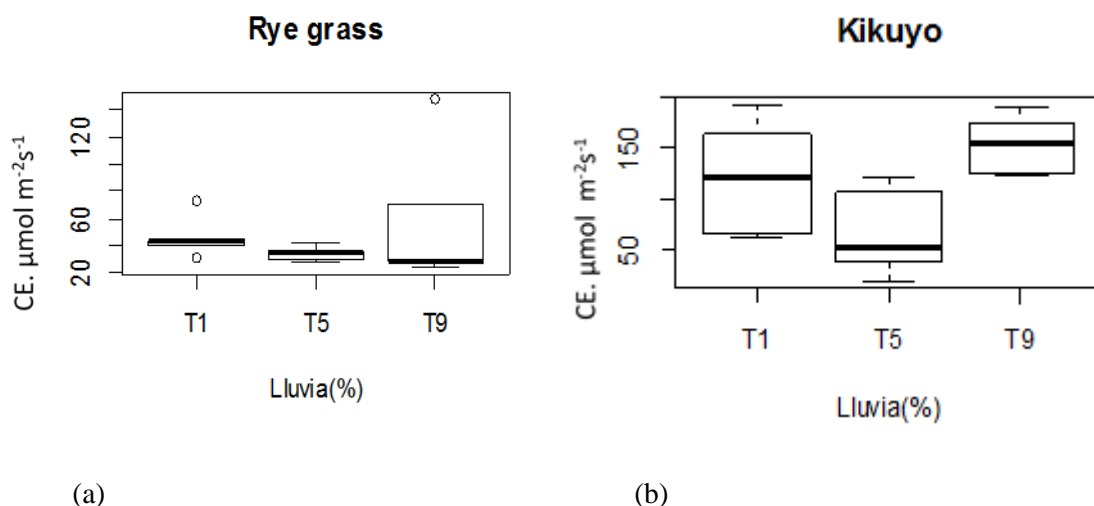
En el análisis de varianza (ANOVA) con  $\alpha=0.05$  de significancia, de la conductancia estomática del kikuyo (Segundo Corte) (Tabla 5), no existen diferencias estadísticamente significativas detectables para los factores de Luz y su Interacción lo que nos demuestra que estos tratamientos son similares en el Segundo Corte, mientras que el factor Lluvia muestra un valor  $p$  significativo de 0.015\*, por lo que se procede a verificar los muestreos que presentan significancia.

**Tabla 6.** ANOVA del factor lluvia para la conductancia estomática del rye grass y kikuyo primer muestreo.

Rye grass		Kikuyo
Tratamiento	$\bar{X} \pm EE$	$\bar{X} \pm EE$
T1 <sub>0-0</sub>	46.3 $\pm$ 4.3	121.7 $\pm$ 18.3
T5 <sub>0-25</sub>	34.2 $\pm$ 1.5	67.5 $\pm$ 13.9
T9 <sub>0-50</sub>	60.1 $\pm$ 13.9	153.9 $\pm$ 9.1
<b>Valor p</b>	**	*

T: tratamientos, Subíndice primera cifra: porcentaje de luz, Subíndice segunda cifra: porcentaje de lluvia,  $\bar{X}$ : media, EE: error experimental, Valor p: nivel de significancia, \*\*: altamente significativo, \*significativo, prueba de Tukey al 5%, CE ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ).

El análisis de varianza (ANOVA) considerando  $\alpha=0.05$ , muestra que, para la conductancia estomática del pasto ryegrass del segundo corte no existen diferencias estadísticamente significativas detectables para el factor lluvia (Tabla 6), mientras que el factor Lluvia, en el I Muestreo, presenta un valor  $p$  significativo de 0.007\*\* por lo que se procede a verificar cuáles de los tres tratamientos presentan significancia, mientras que el análisis de varianza (ANOVA) para el pasto Kikuyo muestra un valor  $p$  significativo de 0.034\* en el primer muestreo para el factor Lluvia, por lo que se procede a verificar cuál de los tratamientos muestran significancia. La prueba de rango múltiple de tukey ( $\alpha=0.05$ ) para la CE del Rye grass (Factor Lluvia - I Muestreo – Segundo Corte), se obtienen valores altamente significativos comparando el T5<sub>0-25</sub> con el T1<sub>0-0</sub> con un valor  $p$  de 0.006, las demás comparaciones no mostraron significancia; La prueba de rango múltiple de tukey ( $\alpha=0.05$ ) para la CE del kikuyo (Factor Lluvia - I Muestreo – Segundo Corte), se obtienen valores altamente significativos comparando el T9<sub>0-50</sub> y T5<sub>0-25</sub> con un valor  $p$  de 0.027, las demás comparaciones no mostraron significancia.



**Figura 11.** Variación de la conductancia estomática en el rye grass (a) y kikuyo (b), factor lluvia, (I muestreo - segundo corte).

La figura 11 (a), presenta un box-plot para la conductancia estomática del Rye grass, en donde la media más alta muestra el tratamiento T9<sub>0-50</sub> con un valor de 60.1  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , la media más baja están en el tratamiento T5<sub>0-25</sub> con un valor de 34.2  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ; la media más alta de esta variable para el

Kikuyo muestra el tratamiento T9<sub>0-50</sub> con un valor de 153.9  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , y con la media más baja en el tratamiento T5<sub>0-25</sub> con un valor de 67.5  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , (Fig. 11b).

### 7.2.3 Conductancia estomática en los pastos rye grass y kikuyo, tercer corte

**Tabla 7.** ANOVA para la conductancia estomática del rye grass (factores luz y lluvia)

Lluvia		Luz	
Tratamientos	$\bar{X} \pm \text{EE}$	Tratamientos.	$\bar{X} \pm \text{EE}$
T1 <sub>0-0</sub>	77.9 $\pm$ 9.6	T1 <sub>0-0</sub>	77.9 $\pm$ 9.6
T5 <sub>0-25</sub>	41.3 $\pm$ 4.2	T4 <sub>30-0</sub>	64.6 $\pm$ 11
T9 <sub>0-50</sub>	56.9 $\pm$ 10.1	T3 <sub>50-0</sub>	78.2 $\pm$ 17.2
		T2 <sub>80-0</sub>	52.3 $\pm$ 9.9
<b>Valor p</b>		ns	

T: tratamientos, Subíndice primera cifra: porcentaje de luz, Subíndice segunda cifra: porcentaje de lluvia,  $\bar{X}$ : media, EE: error experimental, Valor p: nivel de significancia, ns: no significativo, prueba de Tukey al 5%, CE ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).

En el análisis de varianza (ANOVA,  $\alpha=0.05$ ) de la conductancia estomática del Rye grass (Tercer Corte) no existe diferencias estadísticamente significativas detectables para los factores de Luz y su Interacción (Tabla 7), lo que demuestra que los tratamientos son similares en el Tercer Corte.

**Tabla 8.** ANOVA para la conductancia estomática del kikuyo (factores lluvia e interacción).

Lluvia		Interacción	
Tratamiento	$\bar{X} \pm \text{EE}$	Tratamiento	$\bar{X} \pm \text{EE}$
T1 <sub>0-0</sub>	113.3 $\pm$ 32.5	T6 <sub>80-25</sub>	72.4 $\pm$ 13.4
T5 <sub>0-25</sub>	90.2 $\pm$ 19.9	T7 <sub>50-25</sub>	70.9 $\pm$ 10.7
T9 <sub>0-50</sub>	96.2 $\pm$ 22.8	T8 <sub>30-25</sub>	96.3 $\pm$ 17.4
		T10 <sub>80-50</sub>	70.8 $\pm$ 10.1
		T11 <sub>50-50</sub>	79.9 $\pm$ 12.4
		T12 <sub>30-50</sub>	88.3 $\pm$ 15
<b>Valor p</b>		ns	

T: tratamientos, Subíndice primera cifra: porcentaje de luz, Subíndice segunda cifra: porcentaje de lluvia,  $\bar{X}$ : media, EE: error experimental, Valor p: nivel de significancia, ns: no significativo, prueba de Tukey al 5%, CE ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).

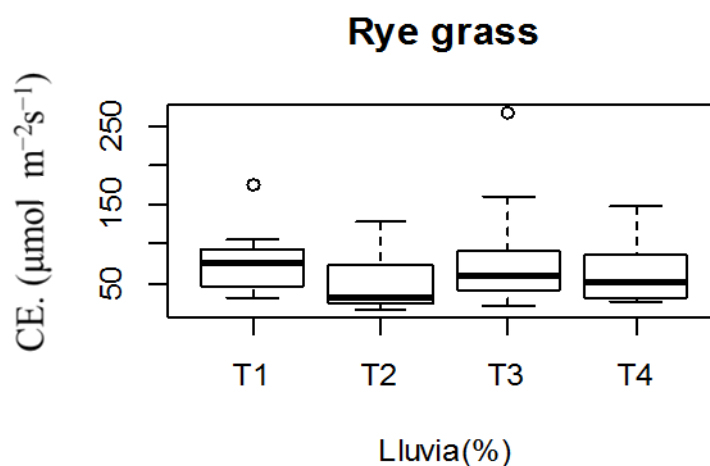
En la tabla 8 se observa el análisis de varianza (ANOVA) de la conductancia estomática del Kikuyo (Tercer Corte) no existen diferencias significativas para los factores Lluvia e Interacción.

**Tabla 9.** *Kruskal-Wallis de la conductancia estomática del rye grass para la interacción y kikuyo para la luz.*

Luz Kikuyo		Interacción Rye grass	
Tratamiento	Me $\pm$ EE	Tratamiento	Me $\pm$ EE
T1 <sub>0-0</sub>	84.5 $\pm$ 27.5	T6 <sub>80-25</sub>	36.9 $\pm$ 7.1
T4 <sub>30-0</sub>	70.2 $\pm$ 14.8	T7 <sub>50-25</sub>	45.8 $\pm$ 7.5
T3 <sub>50-0</sub>	73.3 $\pm$ 12.4	T8 <sub>30-25</sub>	49.6 $\pm$ 10.7
T2 <sub>80-0</sub>	70.9 $\pm$ 7.7	T10 <sub>80-50</sub>	42.3 $\pm$ 6.0
		T11 <sub>50-50</sub>	38.3 $\pm$ 10.4
		T12 <sub>30-50</sub>	33 $\pm$ 3.7
<b>Valor p</b>		ns	

T: tratamientos, Subíndice primera cifra: porcentaje de luz, Subíndice segunda cifra: porcentaje de lluvia, Me: mediana, EE: error experimental, Valor p: nivel de significancia, ns: no significativo, valores significativos ( $< 0.05$ ), CE ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ).

En el análisis de Kruskal-Wallis ( $\alpha=0.05$ ) de la conductancia estomática del Rye grass para la Interacción y Kikuyo para la Luz no existen diferencias estadísticamente significativas detectables: los tratamientos son iguales estadísticamente (Tabla 9).



**Figura 12.** Variación de la conductancia estomática del rye grass, factor luz, tercer corte.

El análisis de los tratamientos que cuentan con el factor luz (Fig. 12) presenta la mediana más alta de CE el tratamiento T3<sub>50-0</sub>, con un valor de  $78.2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , teniendo como la media más baja al tratamiento T2<sub>80-0</sub> con un valor de  $52.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , siendo estadísticamente todos los resultados no significativos.

### 7.3 Influencia de la reducción de disponibilidad de lluvia en la humedad del suelo a nivel de pasturas

**Tabla 10.** Kruskal wallis para la humedad del suelo con los factores lluvia, luz e interacción.

Lluvia		Luz		Interacción	
Tratamiento	Me $\pm$ EE	Tratamiento	Me $\pm$ EE	Tratamiento	Me $\pm$ EE
T1 <sub>0-0</sub>	0.27 $\pm$ 0.01	T1 <sub>0-0</sub>	0.27 $\pm$ 0.01	T6 <sub>80-25</sub>	0.19 $\pm$ 0.01
T5 <sub>0-25</sub>	0.16 $\pm$ 0.01	T4 <sub>30-0</sub>	0.25 $\pm$ 0.01	T7 <sub>50-25</sub>	0.25 $\pm$ 0.01
T9 <sub>0-50</sub>	0.18 $\pm$ 0.01	T3 <sub>50-0</sub>	0.29 $\pm$ 0.02	T8 <sub>30-25</sub>	0.15 $\pm$ 0.01
		T2 <sub>80-0</sub>	0.30 $\pm$ 0.02	T10 <sub>80-50</sub>	0.19 $\pm$ 0.01
				T11 <sub>50-50</sub>	0.19 $\pm$ 0.01
				T12 <sub>30-50</sub>	0.16 $\pm$ 0.01
<b>Valor p</b>	<b>**</b>		<b>**</b>		<b>**</b>

T: tratamientos, Subíndice primera cifra: porcentaje de luz, Subíndice segunda cifra: porcentaje de lluvia, Me: mediana, EE: error experimental, Valor p: nivel de significancia, \*\*: altamente significativo, valores significativos ( $< 0.05$ ),  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ .

Los factores lluvia, luz y su interacción presentaron cambios significativos en la humedad del suelo (Tabla 10), por el efecto de los diferentes niveles de exclusión de luz y lluvia que presentaron los tratamientos, para conocer qué tratamiento muestra significancia utilizamos la prueba de Wilcoxon; realiza la prueba de Wilcoxon Humedad del Suelo Factor Lluvia, En el análisis de Wilcoxon de la humedad del suelo a nivel de pasturas, factor lluvia existe diferencias estadísticas altamente significativas comparando el T1<sub>0-0</sub> y T5<sub>0-25</sub> con un valor de 3.4e-05.

**Tabla 11.** Prueba de Wilcoxon para la humedad del suelo factor luz.

	T1 <sub>0-0</sub>	T4 <sub>30-0</sub>	T3 <sub>50-0</sub>
T4 <sub>30-0</sub>	**	-	-
T3 <sub>50-0</sub>	ns	ns	-
T2 <sub>80-0</sub>	*	*	ns

T: tratamientos, Subíndice primera cifra: porcentaje de luz, Subíndice segunda cifra: porcentaje de lluvia, Leyenda: ns: no significativo, \*: significativo, \*\*: altamente significativo.

En el análisis de Wilcoxon ( $\alpha < 0.05$ ) de la humedad del suelo a nivel de pasturas con el factor luz (Tabla 11) existen diferencias estadísticamente significativas: entre T1<sub>0-0</sub> y T4<sub>30-0</sub>, con un valor altamente significativo de 3.4e-06; entre T1<sub>0-0</sub> y T2<sub>80-0</sub>, con un valor significativo de 0.048; y entre T4<sub>30-0</sub> y T2<sub>80-0</sub>, con un valor significativo de 0.019.

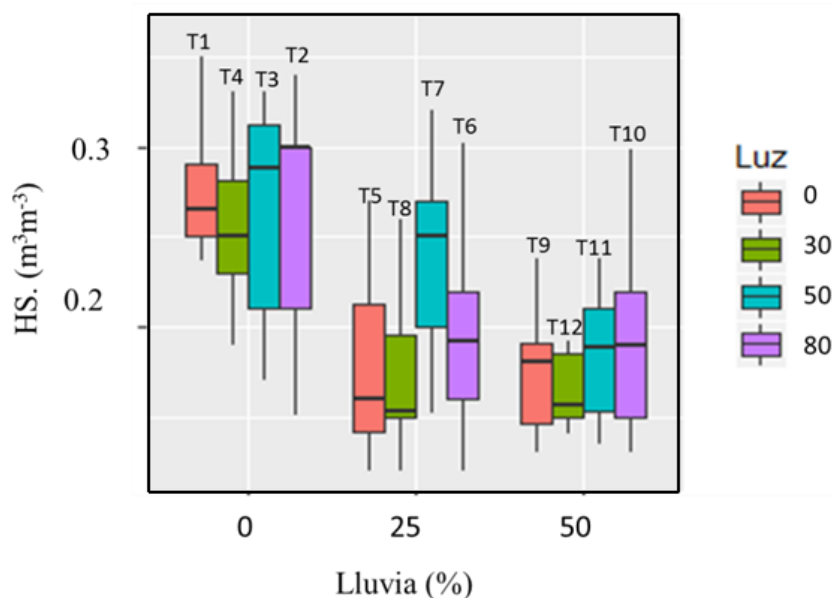


**Tabla 12.** Prueba de Wilcoxon de la humedad de suelo para la interacción luz-lluvia.

	T10 <sub>80-50</sub>	T11 <sub>50-50</sub>	T12 <sub>30-50</sub>	T6 <sub>80-25</sub>	T7 <sub>50-25</sub>
T11 <sub>50-50</sub>	ns	-	-	-	-
T12 <sub>30-50</sub>	**	**	-	-	-
T6 <sub>80-25</sub>	ns	ns	**	-	-
T7 <sub>50-25</sub>	**	**	**	**	-
T8 <sub>30-25</sub>	ns	*	ns	*	*

T: tratamientos, Subíndice primera cifra: porcentaje de luz, Subíndice segunda cifra: porcentaje de lluvia, Leyenda: ns: no significativo, \*: significativo, \*\*: altamente significativo.

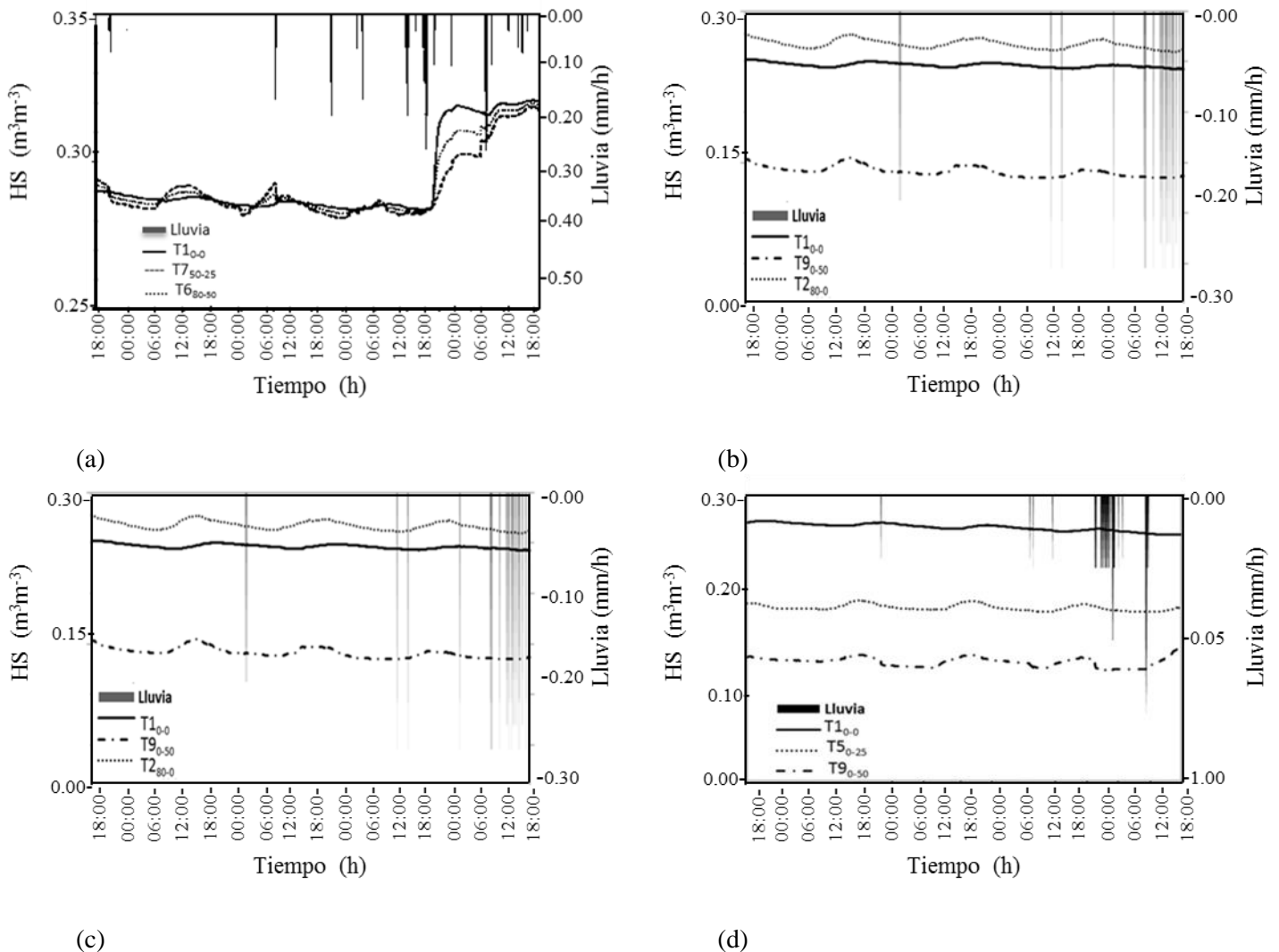
En el análisis de Wilcoxon de la humedad del suelo a nivel de pasturas, con el factor interacción (Tabla 11), existen diferencias estadísticas altamente significativas entre T10<sub>80-50</sub> y T12<sub>30-50</sub>, T10<sub>80-50</sub> y T7<sub>50-25</sub>, T11<sub>50-50</sub> y T12<sub>30-50</sub>; T11<sub>50-50</sub> y T7<sub>50-25</sub>, T11<sub>50-50</sub> y T8<sub>30-25</sub>, T12<sub>30-50</sub> y T6<sub>80-25</sub>, T12<sub>30-50</sub> y T7<sub>50-25</sub>, T6<sub>80-25</sub> y T8<sub>30-25</sub>, y, T7<sub>50-25</sub> y T8<sub>30-25</sub>.



**Figura 13.** Variación de la humedad del suelo (HS) con relación a los tratamientos.

La luz es un factor importante para HS ya que a medida que esta disminuye, la humedad aumenta el tratamiento (T2<sub>0-0</sub>) muestra la mediana más alta, de 0.3 m³m⁻³, seguido de los tratamientos T3<sub>50-0</sub>, T1<sub>0-0</sub> y T4<sub>30-0</sub>, con valores de 0.29, 0.265 y 0.249 m³m⁻³, respectivamente; mientras que la mediana más baja de humedad se obtuvieron para T8<sub>30-25</sub> y T12<sub>30-50</sub>, con valores de 0.153 y 0.161 m³m⁻³, respectivamente,

en la Fig.13 se puede observar el comportamiento de los distintos tratamientos, en general, a medida que la exclusión de lluvia aumenta, la HS disminuye, pero a su vez esta disminución es menos severa conforme aumenta la exclusión de luz.



T: tratamientos, Subíndice primera cifra: porcentaje de luz, Subíndice segunda cifra: porcentaje de lluvia, HS: humedad del suelo, h: horas.

**Figura 14. (a, b, c y d),** Comportamiento de la humedad del suelo (HS) entre tratamientos

en temporadas lluviosas y secas.

La Fig. 14a muestra la relación lluvia-HS de los tratamientos T10-0, T750-25 y T680-25, durante un periodo de 5 días, con una intensidad de lluvia en sus picos más altos de  $0.5 \text{ mm h}^{-1}$  y un total de lámina de lluvia de 20.8 mm, se puede observar una rápida respuesta en el incremento de la HS alcanzando un

valor máximo de  $0.32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , los valores en cada uno de los tratamientos se asemejan ya que si bien existe para T<sub>680-25</sub> y T<sub>750-25</sub> una exclusión de lluvia del 25% con respecto al T<sub>10-0</sub>, que no tiene ningún tipo de exclusión, la recarga de agua en el suelo alcanza una estabilidad debido al periodo prolongado de lluvia, por lo que los tres tratamientos se comportan de igual manera. La Fig. 14b muestra el comportamiento de dos tratamientos que fueron sometidos a las exclusiones más altas de luz y lluvia, con un total de 5.3 mm, una intensidad máxima de  $0.3 \text{ mm h}^{-1}$ . T<sub>280-0</sub> presenta un promedio de HS de  $0.267 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , seguido del T<sub>10-0</sub> con un promedio de  $0.247 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . Finalmente, el promedio más bajo de HS le corresponde a T<sub>90-50</sub> con  $0.141 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . La Fig. 14c muestra dos tratamientos que tienen interacción, T<sub>750-25</sub> presenta el promedio más bajo de HS:  $0.193 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , seguido del T<sub>1080-50</sub> con un valor de  $0.249 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , mientras que T<sub>10-0</sub> presenta el promedio más alto  $0.253 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . A medida que la exclusión de lluvia y luz aumentan, estas interacciones son favorables ya que en T<sub>10-0</sub>, que se encuentra en condiciones ambientales normales en relación al T<sub>1080-50</sub>, la presencia de sombra en un 80% ayuda a mantener la HS con valores promedio muy próximos al T<sub>10-0</sub>; por otra parte, mientras la exclusión de luz disminuye, HS es afectada como se puede observar en T<sub>750-25</sub>. Finalmente, con la Fig. 14d se puede realizar un análisis similar ya que a medida que aumenta la exclusión de lluvia la HS disminuye en dos tratamientos (T<sub>50-25</sub> y T<sub>90-50</sub>) para este caso, T<sub>10-0</sub> mantiene valores de humedad superiores.

#### 7.4 *Influencia de la reducción de lluvia en la temperatura del suelo a nivel de pasturas.*

**Tabla 13.** Prueba de Kruskal-Wallis para la temperatura del suelo.

Lluvia		Luz		Interacción	
Tratamiento	Me±EE	Tratamiento	Me±EE	Tratamiento	Me±EE
T <sub>10-0</sub>	21.7±0.45	T <sub>10-0</sub>	21.7±0.45	T <sub>680-25</sub>	17.6±0.73
T <sub>50-25</sub>	20.4±0.99	T <sub>430-0</sub>	19.6±0.77	T <sub>750-25</sub>	19.4±0.69
T <sub>90-50</sub>	22.1±1.12	T <sub>350-0</sub>	19.4±0.57	T <sub>830-25</sub>	19.1±0.81
		T <sub>280-0</sub>	17.8±0.56	T <sub>1080-50</sub>	18.6±0.63
				T <sub>1150-50</sub>	19.6±0.62
				T <sub>1230-50</sub>	20.6±1.03
<b>Valor p</b>		<b>**</b>		<b>**</b>	

T: tratamientos, Subíndice primera cifra: porcentaje de luz, Subíndice segunda cifra: porcentaje de lluvia, Me: mediana, EE: error experimental, Valor p: nivel de significancia, \*\*: altamente significativo, valores significativos ( $< 0.05$ ), °C.

Los factores lluvia, luz y su interacción presentaron cambios significativos en temperatura del suelo, (Tabla 12). Por el efecto de los diferentes tratamientos, para conocer qué tratamiento muestra significancia se realizó la prueba de Wilcoxon de la TS a nivel de pasturas, factor lluvia, cuyo resultado fue que existen diferencias estadísticas: T1<sub>0-0</sub> y T5<sub>0-25</sub> ( $p = 0.001$ ), T1<sub>0-0</sub> y T9<sub>0-50</sub> ( $p = 0.016$ ) y T5<sub>0-25</sub> y T9<sub>0-50</sub> ( $p = 0.001$ ).

De acuerdo a la prueba de Wilcoxon, con la TS a nivel de pasturas factor luz para los tratamientos con exclusión de lluvia, existen diferencias estadísticas altamente significativas en los tratamientos: T5<sub>0-25</sub> y T1<sub>0-0</sub> ( $p = 0.001$ ); T9<sub>0-50</sub> y T1<sub>0-0</sub> ( $p = 0.016$ ) y T9<sub>0-50</sub> y T5<sub>0-50</sub> ( $p = 0.025$ ).

**Tabla 14.** Prueba de Wilcoxon temperatura del suelo factor luz.

	T1 <sub>0-0</sub>	T2 <sub>80-0</sub>	T3 <sub>50-0</sub>
T2 <sub>80-0</sub>	**	-	-
T3 <sub>50-0</sub>	**	**	-
T4 <sub>30-0</sub>	**	**	*

T: tratamientos, Subíndice primera cifra: porcentaje de luz, Subíndice segunda cifra: porcentaje de lluvia, Leyenda: \*: significativo, \*\*: altamente significativo.

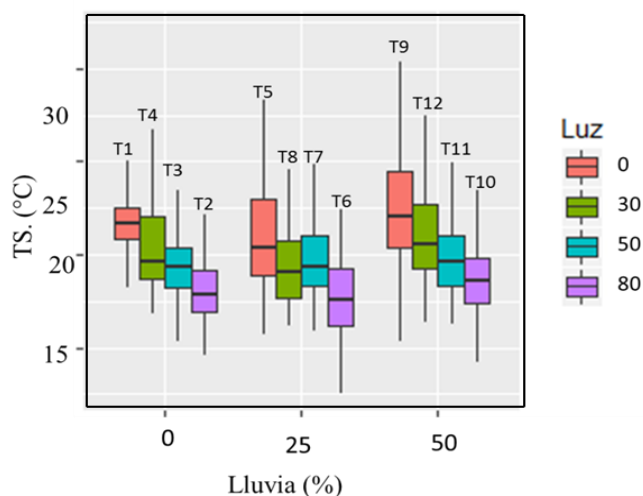
En el análisis de Wilcoxon al 0.5% de significancia, de la TS a nivel de pasturas, factor luz existe diferencias estadísticas altamente significativas en todas las comparaciones lo que nos indica que todos los tratamientos fueron diferentes (Tabla. 14).

**Tabla 15.** Prueba de Wilcoxon para las diferencias de la temperatura del suelo de acuerdo a la interacción de lluvia-luz.

	T10 <sub>80-50</sub>	T11 <sub>50-50</sub>	T12 <sub>30-50</sub>	T6 <sub>80-25</sub>	T7 <sub>50-25</sub>
T11 <sub>50-50</sub>	**	-	-	-	-
T12 <sub>30-50</sub>	**	*	-	-	-
T6 <sub>80-25</sub>	*	**	*	-	-
T7 <sub>50-25</sub>	*	ns	*	**	-
T8 <sub>30-25</sub>	*	ns	*	**	ns

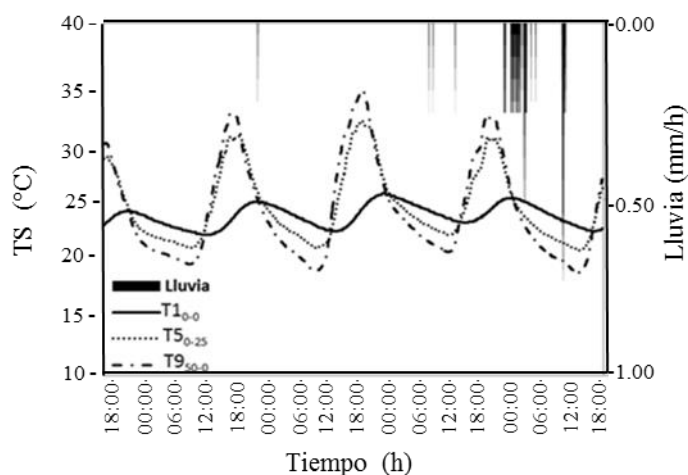
T: tratamientos, Subíndice primera cifra: porcentaje de luz, Subíndice segunda cifra: porcentaje de lluvia, Leyenda: ns: no significativo, \*: significativo, \*\*: altamente significativo.

De acuerdo a la prueba de Wilcoxon de la TS a nivel de pasturas, factor interacción, existen diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamiento: T12<sub>30-50</sub> y T10<sub>80-50</sub> ( $p = 1.3e-07$ ), T8<sub>30-25</sub> y T10<sub>80-50</sub> ( $p = 0.038$ ), T12<sub>30-50</sub> y T11<sub>50-50</sub> ( $p = 0.016$ ), T6<sub>80-25</sub> y T11<sub>50-50</sub> ( $p = 6.1e-08$ ), T6<sub>80-25</sub> y T12<sub>30-50</sub> ( $p = 1.8e-11$ ), T7<sub>50-25</sub> y T12<sub>30-50</sub> ( $p = 0.016$ ), T8<sub>30-25</sub> y T12<sub>30-50</sub> ( $p = 0.004$ ), T7<sub>50-25</sub> y T6<sub>80-25</sub> ( $p = 1.2e-06$ ), T8<sub>30-25</sub> y T6<sub>80-25</sub> ( $p = 1.3e-06$ ), (Tabla 15).

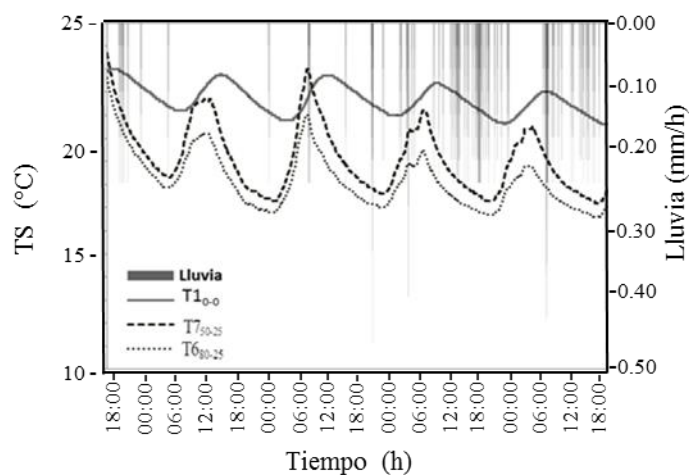


**Figura 15.** Temperatura del suelo (TS) en relación con la sombra y lluvia.

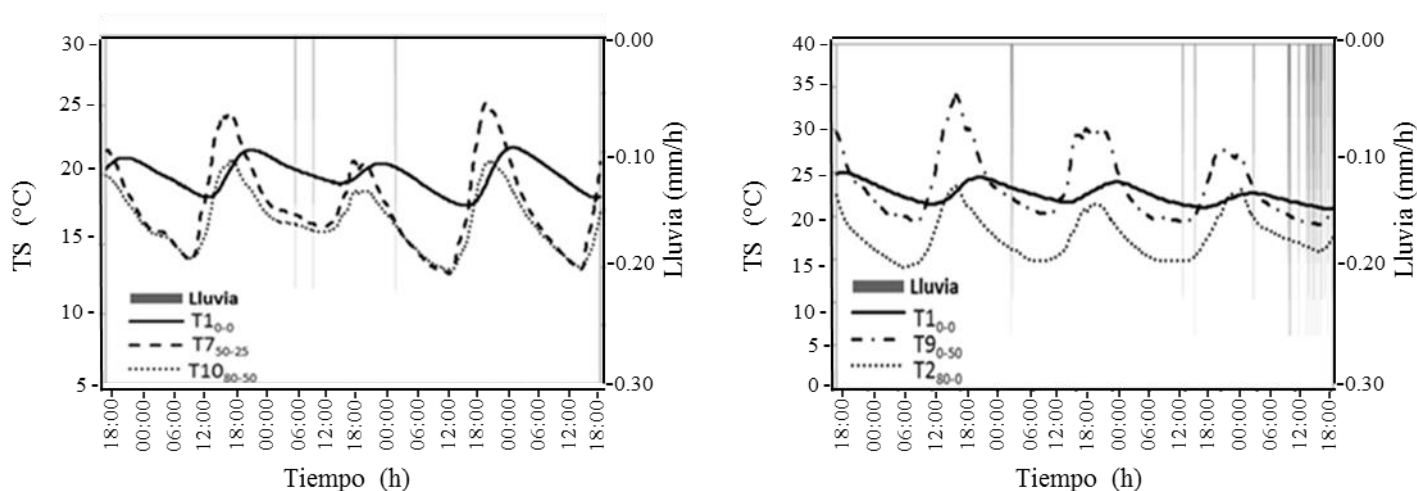
El comportamiento de la temperatura del suelo en relación con cambios en la lluvia y luz se muestra en la Fig. 15, cuando el porcentaje exclusión aumenta la temperatura disminuye, resultando que los tratamientos que no cuentan con exclusión de luz, presentan los niveles de temperatura más elevados, mientras que en los tratamientos que cuentan con exclusión de luz al 80%, la temperatura puede disminuir entre 4 y 5 °C.



(a)



(b)



(c)

(d)

T: tratamientos, Subíndice primera cifra: porcentaje de luz, Subíndice segunda cifra: porcentaje de lluvia, TS: temperatura del suelo, h: horas.

**Figura 16. (a, b, c y d),** Comportamiento de la temperatura del suelo (TS) entre tratamientos en temporadas lluviosas y secas.

El comportamiento de la temperatura del suelo en relación a los tratamientos de lluvia y luz a nivel de eventos (para un periodo total de 5 días) se muestra en la Fig. 16. En la Fig. 16a se muestra que el T90-50 tiene una mayor temperatura en horas de la tarde y muestra las temperaturas más bajas en las mañanas, en comparación a los otros tratamientos, con una máxima de 34.3°C y una mínima de 18.8°C, esto puede ser debido a que este tratamiento no cuenta con sombra y tiene el mayor porcentaje de exclusión, de acuerdo a lo observado en campo el pasto no se desarrolló normalmente. Por otra parte, el tratamiento T10-0 muestra tener las temperaturas más bajas durante los 5 días con una temperatura máxima de 25.5 °C, y una temperatura mínima de 22.0°C, esto puede deberse a que no cuenta con exclusión de lluvia. La Fig. 16b muestra que T10-0 tiene la temperatura mayor, con una máxima de 23°C y con una mínima de 20.6°C. Los tratamientos T750-25 y T680-25 son los que muestran temperaturas bajas debido a que tienen los porcentajes más altos de exclusión de luz, esto interfirió directamente en la temperatura del suelo. La Fig. 16c muestra que el tratamiento T10-0 tiene las temperaturas más altas, con una máxima de 22.0°C y con una mínima de 17.8°C. El tratamiento T1080-50 muestra una temperatura más baja, con una máxima de 21.1°C y una mínima de 13.2°C, estos tratamientos muestran que la sombra es un factor que modifica la temperatura del suelo. En la Fig. 16d indica que el tratamiento

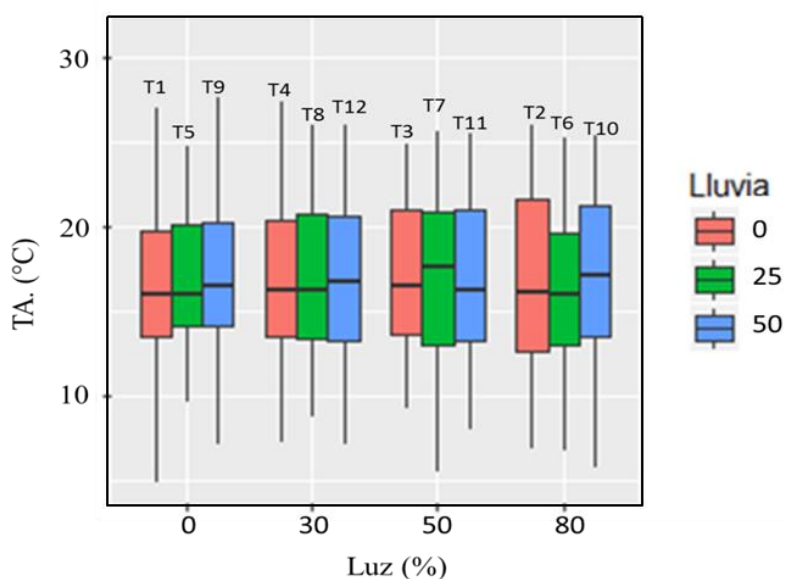
T<sub>90-50</sub> tiene mayor temperatura en las tardes ya que cuenta solo con exclusión de lluvia, con una máxima de 34.0 °C y con una mínima de 19.0°C, y el tratamiento T<sub>280-0</sub>, muestra las temperaturas más bajas con una máxima de 23.5°C y una mínima de 14.1°C, la exclusión de luz es un factor importante en la temperatura de suelo a mayor exclusión menor temperatura.

### 7.5 *Influencia de la reducción de la disponibilidad de luz en la temperatura ambiente a nivel de pasturas.*

**Tabla 16.** Prueba de Kruskal-Wallis para determinar significancia de cambios en la temperatura ambiental (TA) asociados a factores que consideran variación de luz y/o lluvia.

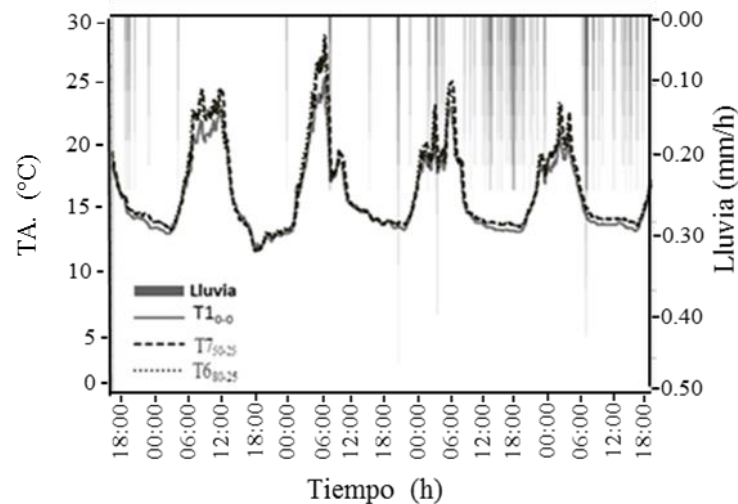
Lluvia		Luz		Interacción	
Tratamiento	Me ±EE	Tratamiento	Me±EE	Tratamiento	Me±EE
T <sub>10-0</sub>	15.8±0.28	T <sub>10-0</sub>	15.9±0.28	T <sub>680-25</sub>	15.9±0.30
T <sub>50-25</sub>	15.9±0.25	T <sub>430-0</sub>	16.2±0.34	T <sub>750-25</sub>	17.6±0.34
T <sub>90-50</sub>	16.5±1.49	T <sub>350-0</sub>	16.4±0.29	T <sub>830-25</sub>	16.3±0.31
		T <sub>280-0</sub>	16.1±0.35	T <sub>1080-50</sub>	17.0±0.32
				T <sub>1150-50</sub>	16.2±0.30
				T <sub>1230-50</sub>	16.7±0.32
<b>Valor p</b>	ns		ns		ns

T: tratamientos, Subíndice primera cifra: porcentaje de luz, Subíndice segunda cifra: porcentaje de lluvia, Me: mediana, EE: error experimental, Valor p: nivel de significancia, ns: no significativo, valores significativos (< 0.05), °C.



**Figura 17.** Temperatura ambiente (TA) en relación con la luz y lluvia.

En el análisis de la temperatura ambiental no se encontraron diferencias estadísticamente significativas (Tabla 16), el tratamiento T7<sub>50-25</sub> fue el tratamiento que obtuvo el mayor promedio en temperatura 17.6 °C mientras que el tratamiento con un promedio más bajo fue para T1<sub>0-0</sub> con 15.8 °C.



T: tratamientos, Subíndice primera cifra: porcentaje de luz, Subíndice segunda cifra: porcentaje de lluvia, TA: temperatura Ambiente, h: horas.

**Figura 18.** Comportamiento de la temperatura ambiente (TA) entre tratamientos durante una temporada lluviosa.

En la figura 18 se puede observar que T2<sub>80-0</sub> muestra la temperatura más alta, a pesar que tiene el mayor porcentaje de sombra, con una temperatura máxima de 31.8°C y con una mínima de 6.8°C, seguido por el T1<sub>0-0</sub> con una temperatura máxima de 26.3 °C y con una mínima de 10.5°C y el T9<sub>0-50</sub> con una temperatura máxima de 28.2 °C y una mínima de 10.2 °C.



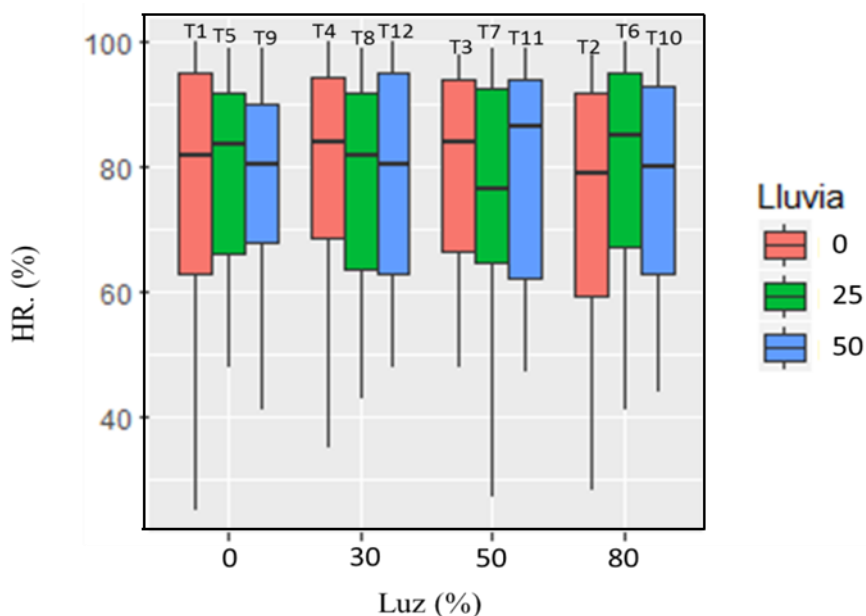
## 7.6 *Influencia de la reducción de la disponibilidad de luz en la humedad relativa a nivel de pasturas.*

**Tabla 17.** Prueba de Kruskal-Wallis para determinar existencia de diferencias en la humedad relativa asociadas a cambios en los factores sombra y lluvia.

Lluvia		Luz		Interacción	
Tratamiento	Me±EE	Tratamiento	Me±EE	Tratamiento	Me±EE
T1 <sub>0-0</sub>	0.82±0.01	T1 <sub>0-0</sub>	0.82±0.01	T6 <sub>80-25</sub>	0.85±0.01
T5 <sub>0-25</sub>	0.84±0.01	T4 <sub>30-0</sub>	0.84±0.01	T7 <sub>50-25</sub>	0.76±0.01
T9 <sub>0-50</sub>	0.81±0.01	T3 <sub>50-0</sub>	0.84±0.01	T8 <sub>30-25</sub>	0.82±0.01
		T2 <sub>80-0</sub>	0.79±0.01	T10 <sub>80-50</sub>	0.80±0.01
				T11 <sub>50-50</sub>	0.86±0.01
				T12 <sub>30-50</sub>	0.80±0.01
<b>Valor p</b>	ns		ns		ns

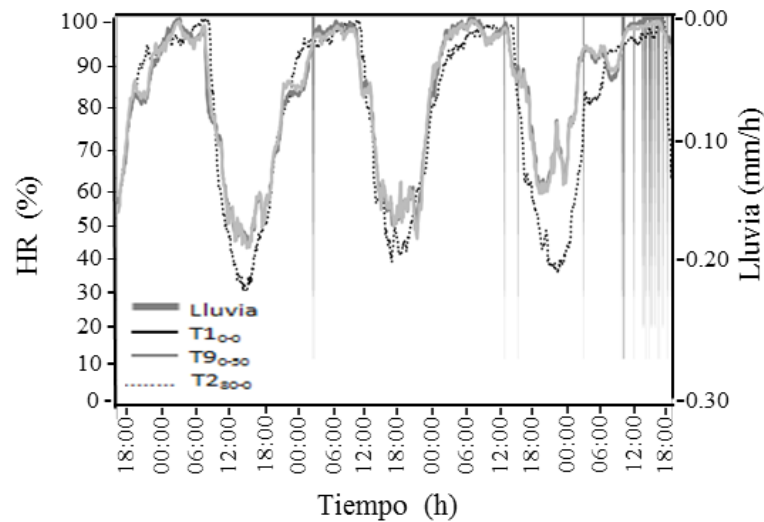
T: tratamientos, Subíndice primera cifra: porcentaje de luz, Subíndice segunda cifra: porcentaje de lluvia, Me: mediana, EE: error experimental, Valor p: nivel de significancia, ns: no significativo, valores significativos ( $< 0.05$ ), CE ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ).

Los factores luz, lluvia y su interacción no presentaron cambios estadísticamente significativos en la TA (Tabla. 16), en los diferentes tratamientos.



**Figura 19.** Cambios en la humedad relativa (HR) en relación con cambios de luz y lluvia.

Los tratamientos no presentaron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la humedad relativa, sin embargo los tratamientos T7<sub>50-25</sub> y T11<sub>50-50</sub> muestran una diferencia a nivel de valores medios del 10% (Fig. 19) con valores de 76 % y 86%, respectivamente.



T: tratamientos, Subíndice primera cifra: porcentaje de luz, Subíndice segunda cifra: porcentaje de lluvia, HR: humedad relativa, h: horas.

**Figura 20.** Comportamiento de la humedad relativa (HS) entre tratamientos durante una época con presencia de lluvia en los últimos dos días de monitoreo.

La Fig. 20 muestra humedad relativa en tres diferentes tratamientos, estos valores muestran un comportamiento similar, de tal manera que en el análisis estadístico tampoco se encontraron diferencias significativas, el comportamiento de esta variable es el esperado, valores altos en la noche de 95% y que descienden a medida que amanece hasta un 35%.

## 8. DISCUSIÓN

### 8.1 *Evaluación de la Conductancia Estomática a nivel de pasturas.*

Nuestros resultados en los tratamientos con exclusión de luz indican no tener significancia, esto puede deberse a los materiales artificiales utilizados en el proyecto como es el zaran, la exclusión de luz no mostro ninguna alteración la planta ya que la temperatura ambiental bajo sombra mostro un leve incremento. En el análisis de los datos muestreados en la primera etapa de madurez fisiológica del segundo corte, se obtuvieron diferencias significativas en los tratamientos que contaban con exclusión de lluvia. Para el caso del rye grass, éste mostro una disminución considerable de conductancia estomática en un escenario del 50% de exclusión de lluvia con relación al testigo, mientras que el kikuyo mostro valores significativos comparando el T<sub>90-50</sub> y T<sub>50-25</sub>, donde el T5 mostro valores bajos de conductancia estomática. Los estudios realizados por Rodriguez-Petit, Rada, & Colmenares (2008) y Caballé, Fernández, Gyenge, Aparicio, & Schlichter (2009) muestran que los valores más bajos de potencial hídrico de la hoja se registraron en monocultivo (sin sombra) de *B. Decumbens*, y *Festuca pallescens*, lo cual podría ejercer una señal de cierre estomático en función de evitar la pérdida de agua. Sin embargo, la mayor conductancia estomática se registró para monocultivo, lo que parece estar asociado a la necesidad de una alta difusión de CO<sub>2</sub> al aparato fotosintético de la planta. En asociación, se observaron los valores significativamente más bajos de conductancia estomática. En condiciones hídricas adecuadas, las plantas de sombra pueden experimentar conductancias estomáticas que permiten una adecuada suplencia de CO<sub>2</sub> al mesófilo. El pasto guinea (*Panicum maximum Jacq*) obtuvo una conductancia estomática 4 veces menor en sombra en comparación con las que están en el sol directo (Páez, González, & Pereira, 1994). En otro estudio, realizado a nivel de gramíneas por Muñoz et al. (2003), estableció dos periodos de sequía de 80 y 100 días después de la siembra, la CE en estado vegetativo disminuyó, la conductancia estomática en *B. decumbensy* y *B. brizanthay* disminuyó significativamente a los 6 o 7 días de haber suspendido el riego, la conductancia estomática disminuía hasta alcanzar valores de 0 cuando el corte de riego continuaba. En un estudio realizado por Atencio, Tapia, & Mejía (2014) se evaluó el comportamiento fisiológico en diferentes gramíneas forrajeras con diferentes niveles de humedad, este estudio mostro que si la humedad disminuye, los valores de CE



también disminuyen. La transpiración varía según la temperatura, en la tarde tiene un descenso progresivo, los valores altos de conductancia se dan al medio día cuando la temperatura es alta (Vadell & Medrano, 1992). Un estudio realizado por (Hernández, 2013) en donde se establecieron cuatro experimentos en 4 diferentes localidades de Colombia en donde se tomaron datos en época seca y época lluviosa, el *centrosema molle* presento un mayor valor de conductancia estomática que el kikuyo en condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa las cuales eran suficientes para conservar los estomas abiertos.

Los valores de conductancia estomática para plantas C3 mostradas en un estudio realizado por Atencio, Tapia, Mejía & Cadena (2014), muestran valores; máx:  $102.1 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  min:  $56.0 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  y un promedio de  $79.0 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  en condiciones ambientales normales, mientras que condiciones de baja humedad la conductancia estomática disminuyo a  $2.7 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; mientras que nuestros estudios reportan valores para la especie de pasto C3 de max: $266.3 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , min: $31.5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , prom: $116.4 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  en épocas lluviosas; en tratamientos con presencia de exclusión de luz T3<sub>(50-0)</sub>, mientras que en la misma época el tratamiento T5<sub>(0-25)</sub> presento valores; máx:  $24.0 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , min: $5.8 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , promedio  $22.0 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; estos valores se deben posiblemente a la perdida de turgencia de las células guardas de los estomas provocando menos apertura de los estomas y una baja transpiración.

## 8.2 Variación de la humedad del suelo con relación a los tratamientos

En nuestro estudio, la humedad del suelo (HS) se vio favorecida a medida que aumentaba el porcentaje de sombra. La FAO (2005) mostró que la implementación de sistemas de producción agroforestales produce cambios significativos en el contenido de humedad de suelo en épocas secas, en dicho estudio se observó un incremento hasta el 17% durante un periodo de 5 años. Según Córdova & Hernández (2003) la interferencia de la radiación solar provocada por la copa de los árboles causa efectos directos e indirectos sobre las pasturas, de forma indirecta produce la alteración de la humedad en la capa superior del suelo, lo cual es valioso para el cultivo ya que se mejora la temperatura y humedad del suelo. Según Bahamonde (2011), desde el punto de vista del crecimiento del pastizal los



árboles ejercen un efecto positivo o neutral, tanto en condiciones de mayor humedad, como en meses más secos. La alta densidad de árboles en los sistemas silvopastoriles favorece a la adaptación al CC porque mantiene la humedad del suelo y se reducen las altas temperaturas (Murgueitio et al., 2014; FAO, 2001). En nuestro estudio la exclusión de lluvia provocó un déficit de agua a nivel de suelo pero a su vez este déficit fue compensado por el incremento de la exclusión de luz ya que, para valores más altos de exclusión de luz, la humedad en el suelo fue mayor.

### **8.3 *Influencia de la reducción de lluvia en la temperatura del suelo***

Los tratamientos en los cuales se excluyó luz y lluvia tienen una relación directa en la temperatura del suelo ya que de acuerdo al análisis estadístico con la prueba de Wilcoxon, existen cambios significativos para la mayoría de los tratamientos (Tablas 11, 12 y 13). La menor temperatura del suelo fue para T2<sub>80-0</sub>, con una media de 19.3 °C, y el testigo que no cuenta con ningún tipo de exclusión tiene una media de 21.7 °C, mientras que la temperatura del suelo más alta presenta el T9 que tiene un 50% de exclusión de lluvia. Como se muestra en la figura 16, mientras más sombra, mayor reducción de la temperatura del suelo, sin considerar la exclusión de lluvia. Un estudio realizado por Bahamonde, Peri, Martínez, & Lencinas (2009) mostró registros de temperatura del suelo en condiciones de monocultivo de 28°C, mientras que la temperatura del suelo registrada en un sistema agroforestal fue de 26°C, por lo tanto, la sombra generada por los árboles disminuye la temperatura a nivel del suelo. Un estudio realizado por Inta (2011) encontró que la temperatura de suelo varía 2.6°C en épocas de verano en lugares sin árboles y 1°C en meses de invierno.

### **8.4 *Influencia de la reducción de lluvia en la temperatura ambiente***

En la presente investigación no se encontraron diferencias significativas para ninguno de estos tratamientos. En este aspecto, generalmente es de esperar que en un sistema silvopastoril ocurran resultados diferentes a los encontrados en nuestro estudio. Por ejemplo, un estudio realizado por Bahamonde, Peri, Martínez, & Lencinas (2009) encontró diferencias entre las temperaturas en dos escenarios: bosques y el suelo sin árboles, siendo más alta en los lugares sin árboles. Otro estudio realizado por Ribaski & Menezes (2002) corrobora dicho estudio ya que los árboles disminuyen la



temperatura ambiental y la temperatura de las hojas. La temperatura ambiente en un sistema con pastizal convencional, sin árboles, fue ligeramente mayor en comparación a un sistema bajo la copa de cítricos (Piñeros & Mora, 2015). Según (Navas, 2010) los sistemas silvopastoriles tienen diversas funciones, entre ellas reducen la temperatura del suelo de 2 y 9 °C en relación a las áreas abiertas; un estudio realizado por (Inta, 2011) mostró que la amplitud térmica del aire fue más alta en invierno en lugares sin árboles. Esto se puede deber a que los sitios que cuentan con cubiertas vegetales amortigüen las temperaturas diarias y estacionales, en comparación con el suelo desnudo (Gómez, 2004); dentro de nuestro estudio esta variable no se vio modificación, posiblemente se debió a que el área de estudio no abarcaba una gran extensión.

### **8.5      *Influencia de la reducción de lluvia en la humedad relativa ambiental***

Los análisis no mostraron diferencias significativas para esta variable a lo largo de la investigación, posiblemente por la limitada superficie que ocupaba cada unidad experimental. Un estudio realizado por Peri et al. (2005) mostró que la humedad relativa es mayor en los sistemas silvopastoriles que en el área adyacente sin árboles. En nuestro experimento, los materiales utilizados, que en cierta medida podrían disminuir la humedad del sitio experimental, como es el sarán y el policarbonato que se utilizó para la exclusión de lluvia, apenas cubrían un área de 2 m<sup>2</sup> que representa cada unidad experimental. Según Murgueitio et al. (2014) y Bahamonde, Peri, Álvarez, & Barneix (2012), los SSP incrementan la humedad relativa en las regiones secas (entre 10 y 20%). Un estudio realizado por Piñeros & Mora, (2015) en un sistema convencional de pastizal sin árboles y un sistema bajo la copa de cítricos, encontraron un comportamiento similar entre los sistemas, tanto en épocas lluviosas como en épocas secas, esta última investigación concuerda con nuestros resultados.

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La verificación de la exclusión de luz y lluvia propuestas en el proyecto mostro una alta correlación en los tres niveles de exclusión de luz, para la exclusión del 30% se obtuvo un promedio de disminución de 41%, para el de 50% se obtuvo un 59%, para el 80% se obtuvo un 79%.

Las condiciones esperadas de exclusión propuestas por el proyecto y comparadas con los datos recogidos en campo, fueron semejantes, de esta manera se concluye que existió la modificación esperada para las variables de luz y lluvia y que, a su vez, provocaron un efecto tanto a nivel del desarrollo de las pasturas, como en la modificación de las variables climáticas evaluadas.

Durante la primera etapa de desarrollo vegetativo del segundo corte, en las dos pasturas, se evidenció una reducción de la tasa de CE en los tratamientos que presentaban 25 y 50% de exclusión de lluvia, en comparación al tratamiento que no contaba con exclusión ( $T_{10-0}$ ), este comportamiento posiblemente esté relacionado con el periodo seco, ya que las plantas cierran los estomas para controlar los niveles de pérdida de agua a través de la transpiración. Al observar este comportamiento se puede inferir que los valores de conductancia no mostraron un estrés en las plantas, sin embargo, a más alta exclusión de lluvia, la población de plantas de pasto disminuyó considerablemente en los tratamientos, siendo este efecto más evidente en el rye grass mientras que el kikuyo mostró cierta tolerancia a la sequía este comportamiento es propio de las plantas C4; mientras que en la exclusión de luz no se obtuvo significancia en ninguno de los tratamientos, lo que nos indica que los materiales utilizados modificaron la variable temperatura de manera diferente a lo previsto, ya que se esperaba una reducción de estos valores, sin embargo la temperatura aumento ligeramente en los días más soleados.

La exclusión de luz es un factor determinante para la retención de humedad en el suelo ya que a medida que la exclusión aumenta, de 30 a 80%, la humedad del suelo es mayor. Esta misma tendencia se mantiene tanto en presencia como en ausencia de exclusión de lluvia, esto es favorable ya que los contenidos de humedad en el suelo proporcionaron un buen desarrollo de las pasturas, sin embargo se debe considerar que dentro de un sistema agroforestal existen interacciones de especies arbóreas que también aprovechan los recursos –agua y nutrientes, lo cual sí afectaría la presencia de humedad en el



suelo. El comportamiento de la temperatura del suelo se ve altamente relacionada a la exclusión de luz ya que a medida que el porcentaje de exclusión aumenta la temperatura del suelo disminuye. En conclusión, los valores de humedad y temperatura del suelo tienen una relación directamente proporcional con la exclusión de luz.

La humedad relativa (HR) y la temperatura ambiental (TA) no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, este resultado podría deberse a que el área muestreada o modificada, en nuestro estudio, no es lo suficientemente extensa para poder observar un comportamiento diferente. Sin embargo, es de esperar que cambios notorios de estas variables puedan ser apreciados para casos de extensiones mayores, como es el caso de sistemas silvopastoriles reales. Varios estudios indican que existe un comportamiento diferente dentro de un sistema silvopastoril real ya que la presencia de árboles, a través de su evapotranspiración, modifica las condiciones hidrometeorológicas del área en el que se encuentra.

Para mejorar el estudio se recomienda que el tiempo de rotación de las estaciones se prolongue para evitar una exagerada manipulación de sensores. De esta manera se podría comprobar si los datos meteorológicos se ven afectados por el cambio o rotación permanente de los sensores.

Para futuras investigaciones se recomienda utilizar materiales más resistentes para la elaboración de las estructuras y de este modo evitar un deterioro prematuro de las mismas. Las estructuras de madera, utilizadas en el presente estudio, se vieron afectadas por la lluvia y sol.

Controlar la zona circundante al área de estudio, la presencia de árboles modifica las condiciones de luz y podría alterar el experimento.

Construir una cerca de buena calidad para evitar el ingreso de animales en el área de estudio y que brinde mayor seguridad a los equipos instalados.

Realizar zanjas de mayor profundidad con la finalidad de evitar ingreso de agua en las parcelas durante épocas lluviosas.

Mantener el área circundante al estudio libre de malezas, para esto se recomienda la utilización de maquinaria mecánica.





## 10. BIBLIOGRAFIA

Alonso, J. (2011). Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45 (2), 107–115. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193022245001.pdf>

Atencio, L. M., Tapia, J. J., & Mejía, S. L. (2014). Comportamiento fisiológico de gramíneas forrajeras bajo tres niveles de humedad en condiciones de casa malla, 19(2). <http://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/1194>

Aquilla, R. C., & Jiménez, F. (2005). Influencia del uso del suelo en la calidad del agua en la subcuenca del río Jabonal. *Recursos Naturales y Ambiente*, (48), 81–92. [http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6408/Influencia\\_de\\_uso\\_del\\_suelo.pdf?sequence=1](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6408/Influencia_de_uso_del_suelo.pdf?sequence=1)

Bahamonde, H. (2011). Primaria Neta Aérea y la concentración de proteína bruta de gramíneas en Sistemas Silvopastoriles de ñire (*Nothofagus antarctica*): creación de un modelo de simulación. *Plant Science*. <http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/maestria/2011bahamondehctoralejandro.pdf>

Bahamonde, H. A., Peri, P. L., Álvarez, R., & Barneix, A. (2012). Producción y calidad de gramíneas en un gradiente de calidades de sitio y coberturas en bosques de *Nothofagus antarctica* (G. Forster) Oerst. en Patagonia. *Ecología Austral*, 22(1), 62–73. Retrieved from [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1667-782X2012000100007&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1667-782X2012000100007&script=sci_arttext&tlng=pt)

Bahamonde, H., Peri, P., Martínez, G., & Lencinas, M. (2009). Variaciones microclimáticas en bosques primarios y bajo uso silvopastoril de *Nothofagus antarctica* en dos clases de sitio en Patagonia Sur. *1er Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles, Aspectos Relacionados Al Componente Forestal Arbóreo, Forestales*, 1–7. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-variaciones\\_microclimaticas\\_en\\_bosques\\_primarios.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-variaciones_microclimaticas_en_bosques_primarios.pdf)

Beer, J., Harvey, C., Ibrahim, M., Harmand, J. M., Somarriba, E., & Jiménez, F. (2003). Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. [https://www.researchgate.net/publication/228916276\\_Servicios\\_ambientales\\_de\\_los\\_sistemas\\_agroforestales](https://www.researchgate.net/publication/228916276_Servicios_ambientales_de_los_sistemas_agroforestales)



Buytaert, W., Célleri, R., & Timbe, L. (2009). Predicting climate change impacts on water resources in the tropical Andes: Effects of GCM uncertainty. *Geophysical Research Letters*, 36(7), 1–5. <https://doi.org/10.1029/2008GL037048>

Caballé, G., Fernández, M. ., Gyenge, J., Aparicio, A. G., & Schlichter, T. (2009). Festuca pallescens en sistemas silvopastoriles con pino ponderosa : modelo de tasa de fotosíntesis neta máxima ( Pmax ) bajo diferentes condiciones hídricas , térmicas y lumínicas. [https://www.researchgate.net/publication/262672601\\_Festuca\\_pallescens\\_en\\_sistemas\\_silvopastoriles\\_con\\_pino\\_ponderosa\\_modelo\\_de\\_tasa\\_de\\_fotosintesis\\_neta\\_maxima\\_Pmax\\_bajo\\_diferentes\\_condiciones\\_hidricas\\_termicas\\_y\\_luminicas?fbclid=IwAR1TOPdeB-HRKFAXb7h7RQUSWlnntsxsZA1wvkOWjE50NX3fosgO6cKHPZ8](https://www.researchgate.net/publication/262672601_Festuca_pallescens_en_sistemas_silvopastoriles_con_pino_ponderosa_modelo_de_tasa_de_fotosintesis_neta_maxima_Pmax_bajo_diferentes_condiciones_hidricas_termicas_y_luminicas?fbclid=IwAR1TOPdeB-HRKFAXb7h7RQUSWlnntsxsZA1wvkOWjE50NX3fosgO6cKHPZ8)

CABI. (2018). Lolium multiflorum. <https://doi.org/10.1111/wbm.12007>

CABI. (2018). Pennisetum clandestinum (Kikuyu grass). Retrieved November 30, 2018, from <https://www.cabi.org/isc/datasheet/39765>

Consejo Sectorial de la Producción. (2011). Agenda de Transformación Productiva, 278. <https://es.slideshare.net/mcpec1/agenda-para-la-transformacin-productiva>

Córdoba, E., & Hernández, S. (2013). Competencia por luz en sistemas silvopastoriles, 21–23. Retrieved from [tps://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwjty4rRgNXhAhUBxVvKHSyIB3wQFjABegQIABAC&url=http%3A%2F%2Frevistas.ecosur.mx%2Fecofronteras%2Findex.php%2Feco%2Farticle%2Fdownload%2F479%2F477%2F&usg=AOvVaw3HZJkdtvy4blwDO6Sac2s\\_](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwjty4rRgNXhAhUBxVvKHSyIB3wQFjABegQIABAC&url=http%3A%2F%2Frevistas.ecosur.mx%2Fecofronteras%2Findex.php%2Feco%2Farticle%2Fdownload%2F479%2F477%2F&usg=AOvVaw3HZJkdtvy4blwDO6Sac2s_)

Córdoba, S. E., & Hernández, S. (2003). Competencia por luz en sistemas silvopastoriles. Retrieved from <http://revistas.ecosur.mx/ecofronteras/index.php/eco/article/view/479/477>

FAO. (2000). Efecto de la sombra de los arboles sobre el pastizal en un sistema seminatural. Retrieved December 3, 2018, from <http://www.fao.org/wairdocs/LEAD/X6345S/X6345S01.htm>

FAO. (2001). Factores ambientales. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/006/x8234s/x8234s08.htm>



- FAO. (2005). El Sistema Agroforestal Quesungual, 50. <http://www.fao.org/3/a-at763s.pdf>
- Feldhake, C. M. (2002). Forage frost protection potential of conifer silvopastures. *Agricultural and Forest Meteorology*, 112(2), 123–130. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(02\)00058-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(02)00058-8)
- GAD, Guachapala (2014). Canton Ibarra Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial. <https://guachapala.gob.ec/wp-content/uploads/2017/11/PDOT-2017-GAD.pdf>
- Gerald, N. C., Rosegrant, M. W., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., ... Lee, D. (2009). Cambio Climático: *El impacto en la agricultura y los costos de adaptación*. <http://www.ifpri.org/publication/climate-change-1>
- Godoy, H., Perachimba, L., Revelo, F., & Túquerrez, G. (2012). Agricuutura y ganaderia del Ecuador. Retrieved from <https://es.scribd.com/doc/56603035/AGRICULTURA-Y-GANADERIA-DEL-ECUADOR>
- Gómez Sanz, V. (2004). *Cubiertas forestales y respuesta microclimática*. Retrieved from [http://www.inia.es/gcontrec/pub/084-100-\(04\)-Cubiertas\\_1162210233484.pdf?fbclid=IwAR06hP\\_XQ7fsrBvGeF\\_gNHax0KvdzJmKMAj3CtLY209RPolrTJNRSIwOB7M](http://www.inia.es/gcontrec/pub/084-100-(04)-Cubiertas_1162210233484.pdf?fbclid=IwAR06hP_XQ7fsrBvGeF_gNHax0KvdzJmKMAj3CtLY209RPolrTJNRSIwOB7M)
- Haro, R. (2003). Ministerio de agricultura y ganaderia. <http://www.fao.org/docrep/pdf/010/a1250e/annexes/CountryReports/Ecuador.pdf>
- Ibrahim, M. (2010). Sistemas Silvopastoriles. *Árboles Y Arbustos Dispersos En Potreros*, 48. <file:///C:/Users/usertutienda/Downloads/MarinidouJimenez2010.pdf>
- Ibrahim, M., Villanueva, C., Casasola, F., & Rojas, J. (2006). Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y restauración de la integridad ecológica de paisajes ganaderos. *Pastos y Forrajes*, 29(4), 383–420. <https://www.redalyc.org/pdf/2691/269121676004.pdf>
- Iglesias, J. M. (1999). *Sistemas de producción agroforestales*, (1983). Retrieved from <https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=961&path%5B%5D=463>



INEC. (2013). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC 2013*.  
[http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac%202013/Infografia2013.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac%202013/Infografia2013.pdf)

INEC. (2016). *Encuesta de Superficie y Producción agropecuaria continua ESPAC 1026*.  
Retrieved from [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac-2016/InformeEjecutivoESPAC\\_2016.pdf?fbclid=IwAR1wzlaaqZG\\_AH-kWrgdaVgCI2PnYPsenBLA7Yoaw1M9DhCRDayeIBpcJsU](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2016/InformeEjecutivoESPAC_2016.pdf?fbclid=IwAR1wzlaaqZG_AH-kWrgdaVgCI2PnYPsenBLA7Yoaw1M9DhCRDayeIBpcJsU)

Inta. (2011). Variaciones microclimáticas en bosques primarios y bajo uso silvopastoril de Nothofagus antarctica en dos clases de sitio en Patagonia Sur. Retrieved from [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-variaciones\\_microclimaticas\\_en\\_bosques\\_primarios.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-variaciones_microclimaticas_en_bosques_primarios.pdf)

Ipcc. (2014). Mitigation of climate change: Contribution of working group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change. [https://ar5-syr.ipcc.ch/topic\\_futurechanges.php](https://ar5-syr.ipcc.ch/topic_futurechanges.php)

Lanza, G., & Minnick, G. (1999). *Educación ambiental para el trópico de cochabamba*. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/009/ah648s/AH648S00.htm>

Lin, B. (2007). Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*, 144(1–2), 85–94. <https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2006.12.009>

Lin, B. (2010). *The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems*. United States: University of Michigan. Retrieved from [https://ac.els-cdn.com/S0168192309002755/1-s2.0-S0168192309002755-main.pdf?\\_tid=3e7a1a28-fabc-4130-aa7b-c94fbc820515&acdnat=1540912861\\_60a7de32eae1afa9a128823f9555e5d1](https://ac.els-cdn.com/S0168192309002755/1-s2.0-S0168192309002755-main.pdf?_tid=3e7a1a28-fabc-4130-aa7b-c94fbc820515&acdnat=1540912861_60a7de32eae1afa9a128823f9555e5d1)

Majid, N. M., Awang, K., & Jusoff, K. (1987). Impacts of Sheep Grazing on Soil Properties and Growth of Rubber (*Hevea Brasiliensis*). *Proceedings of an International Workshop on The Application*



of *Meteorology to Agroforestry Systems Planning and Management*, 554.  
<https://doi.org/10.1017/S0003598X00116230>

Mbow, C., Smith, P., Skole, D., Duguma, L., & Bustamante, M. (2014). Achieving mitigation and adaptation to climate change through sustainable agroforestry practices in africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6(1), 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.09.002>

Medrano, H., Bota, J., Cifre, J., Flexas, J., Ribas Carbó, M., & Gulías, J. (2007). Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas*, 43(43), 63–84. [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10196/1/IG\\_43\\_04.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10196/1/IG_43_04.pdf)

Mohan, K., & Nair, P. (2011). *Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems*. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-1630-8>

Muñoz, C., López, T., Vallejo, R., Santos, G. D. L., Mexicana, R. F., Fitogenética, S. M. De, ... Pérez, B. (2003). Resisitencia a sequía de brachiaria Spp. I. Aspectos fisiológicos. <https://www.redalyc.org/html/610/61026304/>

Murgueitio, E., Chará, J., Barahona, R., Cuartas, C., & Naranjo, Rj. (2014). Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPI), herramienta de mitigación y adaptacion al cambio climatico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* (Vol. 17). Universidad Autónoma de Yucatán. Retrieved from <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=93935728001>

Nair, P. K. R., Kumar, B. M., & Nair, V. D. (2009). Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(1), 10–23. <https://doi.org/10.1002/jpln.200800030>

Navas, A. (2010). Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. *Revista de Medicina Veterinaria*, 19(Febrero), 10. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rmv/n19/n19a10.pdf>

Noboa Salazar, J. L. (2014). Evaluación de varios tipos de sustratos en la reproducción de plántulas de Caña guadua (*Guadua angustifolia*) en la zona de Babahoyo, Provincia de Los Ríos. Retrieved from <http://docplayer.es/80800145-Universidad-tecnica-de-babahoyo.html>



Páez, A., González, M., & Pereira, N. (1994). Comportamiento de *Panicum maximum* en condiciones de sombreado. Retrieved from <http://www.produccioncientifica.luz.edu.ve/index.php/agronomia/article/download/11515/11505>

Pask, A., Pietragalla, J., Mullan, D., Chávez, P., & Reynolds, M. (2013). TRIGO Fitomejoramiento Fisiológico II: Una Guía de Campo para la Caracterización Fenotípica de Trigo Federal Ministry for Economic Cooperation and Development. Retrieved from <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/3390/97924.pdf?sequence=7&fbclid=IwAR2uf aPDde1cF0rBKIT25s2XFxxGE5z7Ya4nPbbCSxZR48uSbT15gNWKC3I>

Pérez, G. A., Pineda, D. A., Latournerie, M. L., Pam, P. W., & Godoy, A. C. (2008). Niveles de evapotranspiración potencial en la producción de chile habanero. *Terra Latinoamericana*, 26(1), 53–59. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792008000100007&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792008000100007&script=sci_arttext)

Peri, P. L., Sturzenbaum, M. V., Monelos, L., Livraghi, E., Christiansen, R., Moreto, A., & Mayo, J. P. (2005). Productividad de sistemas silvopastoriles en bosques nativos de ñire (*Nothofagus antarctica*) de Patagonia Austral. *Tercer Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano*, (September 2014), 1–10. [https://www.researchgate.net/publication/242623840\\_Productividad\\_de\\_sistemas\\_silvopastoriles\\_en\\_bosques\\_nativos\\_de\\_nire\\_Nothofagus\\_antarctica\\_de\\_Patagonia\\_Austral](https://www.researchgate.net/publication/242623840_Productividad_de_sistemas_silvopastoriles_en_bosques_nativos_de_nire_Nothofagus_antarctica_de_Patagonia_Austral)

Pezo, D., & Ibrahim, M. (1999). Sistemas silvopastoriles. Retrieved from [http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4025/Sistemas\\_silvopastoriles.pdf;jsessionid=42CE9CB427BBC8FA2C1F1856682F6FAD?sequence=1](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4025/Sistemas_silvopastoriles.pdf;jsessionid=42CE9CB427BBC8FA2C1F1856682F6FAD?sequence=1)

Piñeros Barón, R., & Mora Delgado, J. (2015). Temperature and humidity index for conventional pasture and an agroforestry system in the dry tropic of Colombia. Retrieved from <http://www.scielo.org.ve/pdf/zt/v33n3/art02.pdf?fbclid=IwAR0bzf3PttO2OBIf17BzDkQdogmBu0JdFRpKrkKaqtX9apieB587PBZ4TTc>



Ribaski, J., & Menezes, E. D. a. (2002). Disponibilidad y calidad del pasto buffel ( *Cenchrus ciliaris* ) en un sistema silvopastoril con algarrobo ( *Prosopis juliflora* ) en la región semi-árida Brasileña. *Agroforestería En Las Américas*, 9(33–34), 8–13. [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/manejo%20silvopastoril/43-buffel\\_algarrobo.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/manejo%20silvopastoril/43-buffel_algarrobo.pdf)

Ríos, N., Cárdenas, A. Y., Andrade, H. J., Ibrahim, M., Jiménez, F., Sancho, F., ... Woo, A. (2006). Escorrentía superficial e infiltración en sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en el trópico subhúmedo de Nicaragua y Costa Rica. *Agroforestería de Las Américas*, 45, 66–71. [http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7739/Escorrent%C3%ADa\\_superficial.pdf?sequence=2](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7739/Escorrent%C3%ADa_superficial.pdf?sequence=2)

Rodriguez-Petit, A., Rada, F., & Colmenares, M. (2008). Comportamiento ecofisiológico de *Brachiaria decumbens* en monocultivo y en asociación con *Leucaena leucocephala*. *Pastos y Forrajes*, 31(3), 217–227. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942008000300003](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942008000300003)

Schütz, K. E., Rogers, A. R., Poulouin, Y. A., Cox, N. R., & Tucker, C. B. (2010). The amount of shade influences the behavior and physiology of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 93(1), 125–133. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2416>

Squeo, F. A., & León, M. F. (2007). Capítulo III Transpiración. *Fisiología Vegetal*, 3, 67–84. Retrieved from <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Transpiracion.pdf>

Stigter, K., Ofori, E., Kyei-Baffour, N., & Walker, S. (2011). Microclimate management and manipulation aspects of applied agroforestry. Retrieved December 3, 2018, from <http://www.agrometeorology.org/topics/accounts-of-operational-agrometeorology/microclimate-management-and-manipulation-aspects-of-applied-agroforestry>

USDA. (2000). *Arboles trabajando en beneficio de la ganadería*. Retrieved from <https://www.fs.usda.gov/nac/documents/workingtrees/brochures/wtl-e.pdf>

Vadell, J., & Medrano, H. (1992). Evolución diaria de las tasas de fotosíntesis y transpiración en hojas de trébol subterráneo bajo condiciones de riego y sequía, (2), 147–162. Retrieved from <http://polired.upm.es/index.php/pastos/article/view/1581>



Vega, A., Herrera, R., Rodríguez, G., Sanchez, S., Lamela, L., & Santana, A. (2014). Evaluation of the edaphic macrofauna in a silvopastoral system in Cauto Valley, Cuba, 48(2), 189–193. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/289227023\\_Evaluation\\_of\\_the\\_edaphic\\_macrofauna\\_in\\_a\\_silvopastoral\\_system\\_in\\_Cauto\\_Valley\\_Cuba](https://www.researchgate.net/publication/289227023_Evaluation_of_the_edaphic_macrofauna_in_a_silvopastoral_system_in_Cauto_Valley_Cuba)

Vera, J. E. (2005). Identificación y evaluación de los factores que influyen en la calidad de leche de las Fincas proveedoras de la fábrica de Quesos la Holandesa. <https://docplayer.es/25868858-Identificacion-y-evaluacion-de-los-factores-que-influyen-en-la-calidad-de-leche-de-las-fincas-proveedoras-de-la-fabrica-de-quesos-la-holandesa.html>

Vera, R. (2004). Perfiles por País del Recurso Pastura/Forraje. <https://docplayer.es/6123393-Perfiles-por-pais-del-recurso-pastura-forraje-ecuador-por-dr-raul-vera.html>

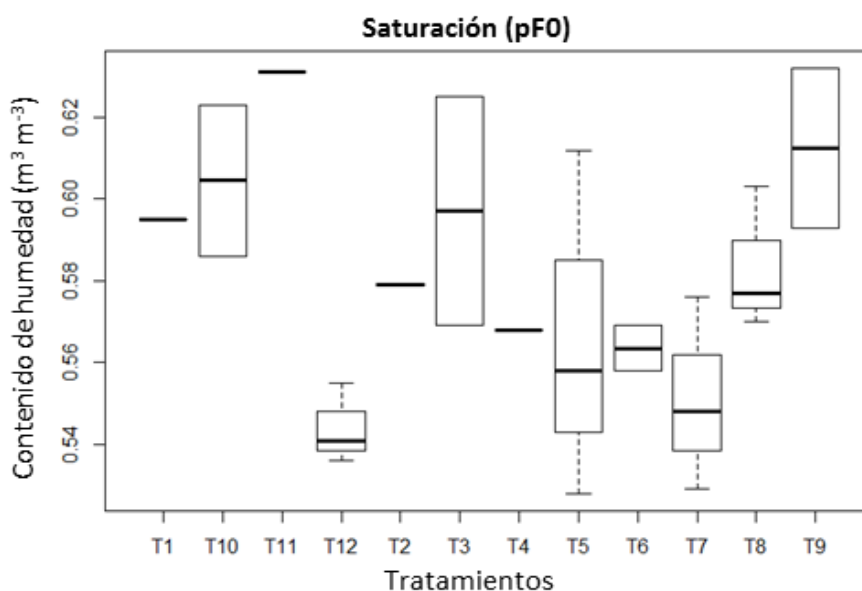


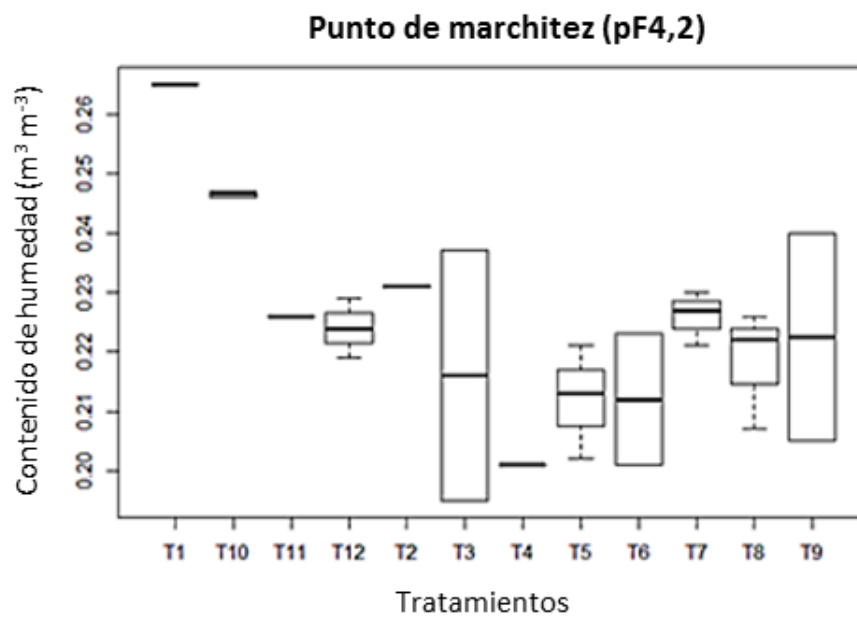
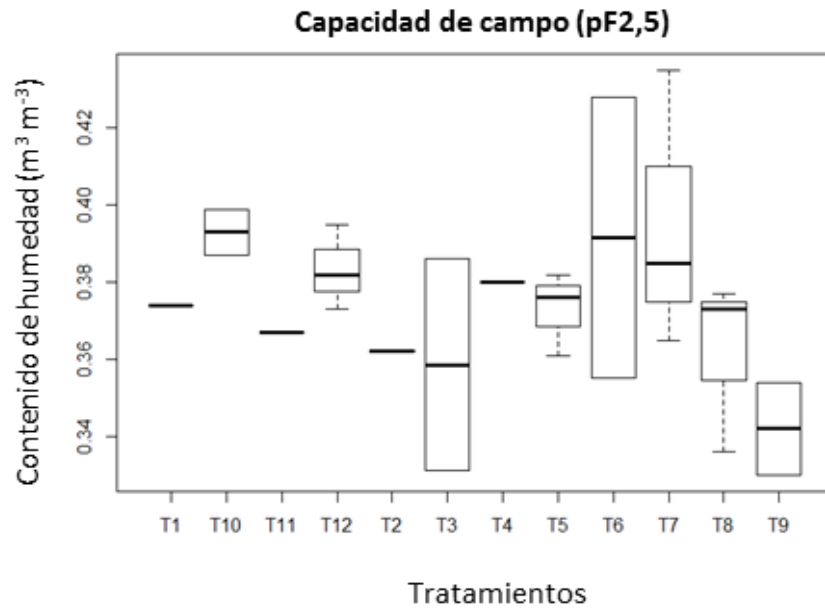
## 11. ANEXOS

### Anexo 1. Análisis del contenido de humedad del suelo y su potencial capilar (pF) del área de estudio.

	Saturación (pF0)	Capacidad de Campo (pF2.5)	Punto de Marchitez (pF4.2)
	$X \pm EE$	$X \pm EE$	$X \pm EE$
T1(0-0)	0.59±0.03	0.37±0.03	0.26±0.01
T2(80-0)	0.58±0.03	0.36±0.02	0.23±0.01
T3(50-0)	0.59±0.02	0.34±0.02	0.21±0.02
T4(30-0)	0.57±0.01	0.38±0.02	0.20±0.01
T5(0-25)	0.57±0.02	0.37±0.01	0.21±0.01
T6(80-25)	0.56±0.01	0.39±0.37	0.21±0.01
T7(50-25)	0.55±0.01	0.39±0.03	0.23±0.00
T8(30-25)	0.58±0.01	0.36±0.02	0.22±0.01
T9(0-50)	0.61±0.01	0.34±0.01	0.22±0.01
T10(80-50)	0.61±0.01	0.39±0.01	0.25±0.00
T11(50-50)	0.63±0.01	0.37±0.01	0.23±0.01
T12(30-50)	0.55±0.01	0.38±0.01	0.22±0.00
<b>F valor</b>	1.39	0.78	2.43
<b>Valor p</b>	ns	ns	ns

### Anexo 2. Box plot del contenido de humedad del suelo y su potencial capilar (pF).



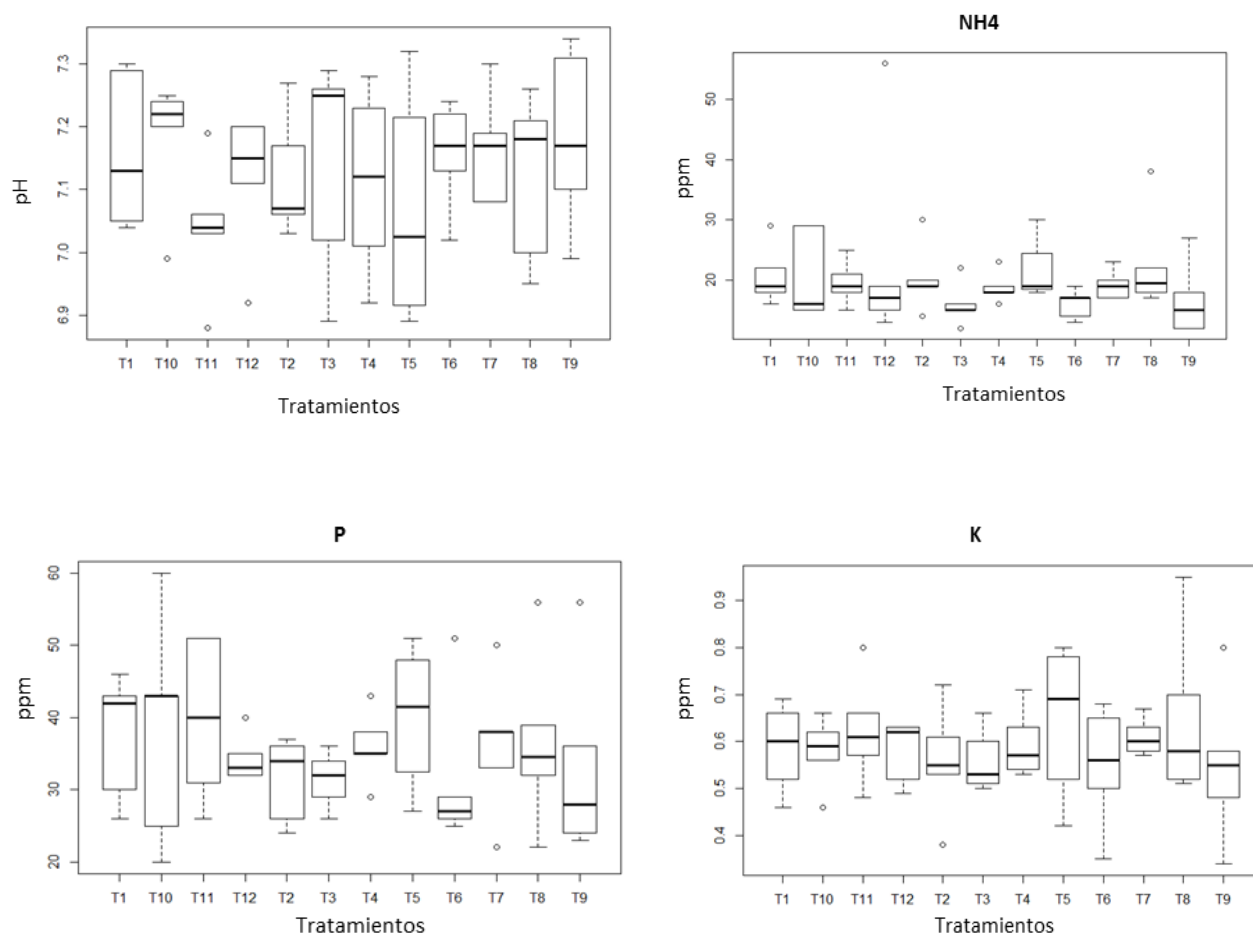




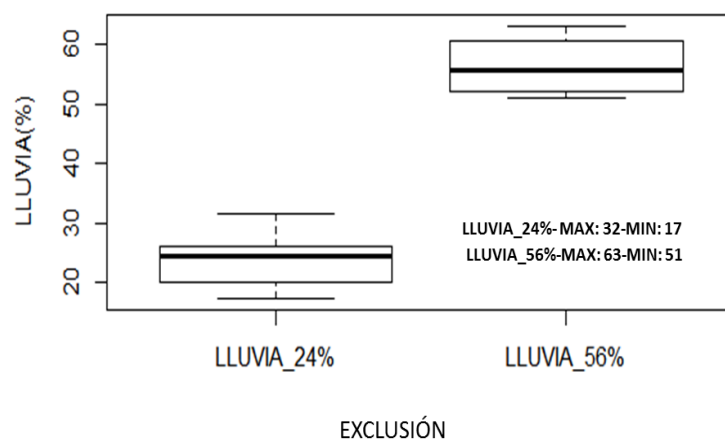
**Anexo 3.** *Análisis de las características químicas del área de estudio.*

Var	ANOVA		X ± EE											
	F	Valor p	T1 <sub>(0-0)</sub>	T2 <sub>(80-0)</sub>	T3 <sub>(50-0)</sub>	T4 <sub>(30-0)</sub>	T5 <sub>(0-25)</sub>	T6 <sub>(80-25)</sub>	T7 <sub>(50-25)</sub>	T8 <sub>(30-25)</sub>	T9 <sub>(0-50)</sub>	T10 <sub>(80-50)</sub>	T11 <sub>(50-50)</sub>	T12 <sub>(30-50)</sub>
<b>pH</b>	0.55	ns	7.2±0.06	7.1±0.04	7.1±0.08	7.1±0.07	7.1±0.09	7.2±0.04	7.2±0.04	7.1±0.06	7.2±0.07	7.2±0.05	7.0±0.05	7.1±0.05
<b>NH<sub>4</sub></b>	0.60	ns	20.8±2.27	20.4±2.62	16.0±1.64	18.8±1.16	21.5±2.54	16.0±1.09	19.2±1.11	22.3±3.52	16.8±2.78	20.8±3.52	19.6±1.66	24.0±8.06
<b>P</b>	0.47	ns	37.4±3.94	31.4±2.62	31.4±1.78	36.0±2.28	40.3±4.61	31.6±4.89	36.2±4.52	36.3±5.05	33.4±6.09	38.2±7.17	39.8±5.09	34.4±1.50
<b>S</b>	0.95	ns	9.5±1.86	8.4±0.69	7.6±1.38	11.4±1.88	10.2±0.41	11.6±1.38	9.3±2.18	11.4±1.72	12.2±0.97	7.2±1.23	11.1±1.80	3.1±3.11
<b>K</b>	0.44	ns	0.59±0.04	0.56±0.06	0.56±0.03	0.59±0.03	0.65±0.08	0.54±0.06	0.61±0.02	0.64±0.07	0.55±0.07	0.58±0.03	0.62±0.05	0.58±0.03
<b>Ca</b>	0.75	ns	19.3±0.55	19.9±0.47	19.1±0.66	19.5±0.51	20.3±0.21	19.1±0.55	19.5±0.75	18.9±0.61	19.4±0.55	18.3±0.54	18.7±0.94	19.5±0.62
<b>Mg</b>	0.63	ns	6.2±0.11	6.5±0.11	6.5±0.14	6.4±0.19	6.6±0.22	6.5±0.18	6.2±0.14	6.4±0.10	6.4±0.10	6.3±0.05	6.2±0.29	6.2±0.09
<b>B</b>	1.22	ns	0.56±0.05	0.40±0.04	0.46±0.06	0.46±0.05	0.48±0.05	0.54±0.05	0.48±0.02	0.53±0.06	0.52±0.04	0.40±0.04	0.50±0.03	0.52±0.04
<b>Zn</b>	0.66	ns	13.1±2.17	12.8±1.34	14.2±1.99	14.5±1.90	14.9±1.69	15.3±1.39	15.1±2.25	13.2±1.70	17.4±4.20	11.8±1.48	11.3±1.87	12.8±2.16
<b>Cu</b>	0.80	ns	7.0±0.39	6.8±0.26	8.0±0.63	7.4±0.68	6.9±0.12	7.5±0.30	7.4±0.66	7.6±0.54	7.6±0.12	8.4±0.84	7.3±0.52	7.1±0.24
<b>Fe</b>	1.08	ns	41.4±3.36	36.0±3.27	36.4±4.61	42.0±3.61	41.3±2.23	38.8±2.92	42.4±1.63	35.8±1.68	37.4±2.16	42.2±2.27	41.2±0.86	33.0±5.23
<b>Mn</b>	1.14	ns	12.3±1.41	16.2±1.58	15.5±2.14	14.5±1.29	15.9±2.36	14.3±0.96	14.0±1.64	13.8±1.47	15.2±1.46	10.3±0.87	13.9±2.68	16.8±1.43

**Anexo 4. Box plot del análisis químico del: pH, N, P y K.**



**Anexo 5. Verificación de la exclusión de lluvia del área experimental.**



**Anexo 6.** *Sistema de exclusión de lluvia y toma de datos de tanques recolectores de lluvia.*

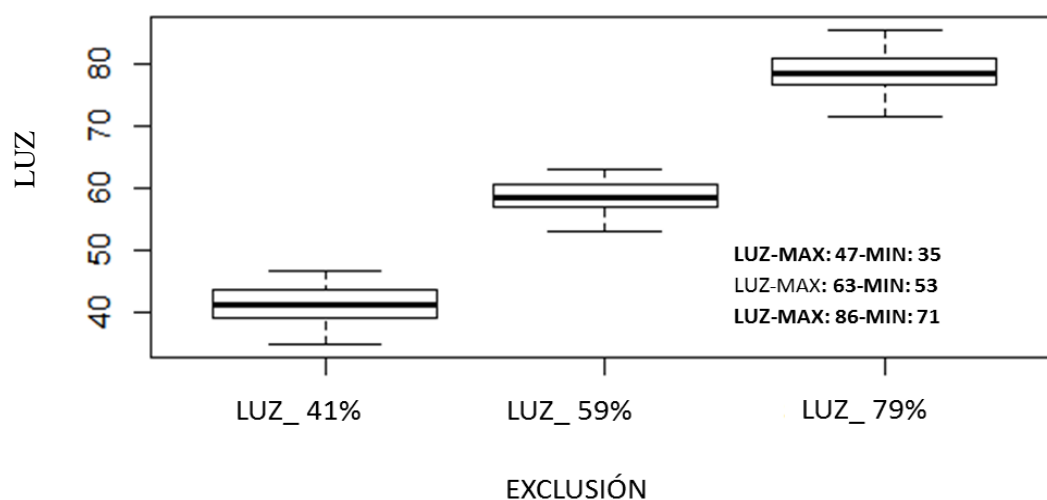


[Fotografía de Aucapiña & Cajamarca]. (Romeral. 2018). Archivos fotográficos Universidad de Cuenca.

**Anexo 7.** *Base de datos verificación exclusión de lluvia.*

Pluviógrafo (Lt)	Exc-Lluvia- 25% (Lt)	Exc-Lluvia- 50% (Lt)
36.3	8.9	18.5
52.7	11.9	26.7
19.2	3.9	12.1
40.3	11.6	20.6
48.3	7.5	23.0
39.3	10.5	20.0
61.4	19.0	33.3
37.7	8.0	19.8
69.3	15.3	27.5
59.2	13.3	26.8
60.8	19.3	32.3

**Anexo 8.** Verificación de la exclusión de luz del área experimental.



**Anexo 9.** Análisis de la CE en los pastos rye grass y kikuyo, I-II-III corte.

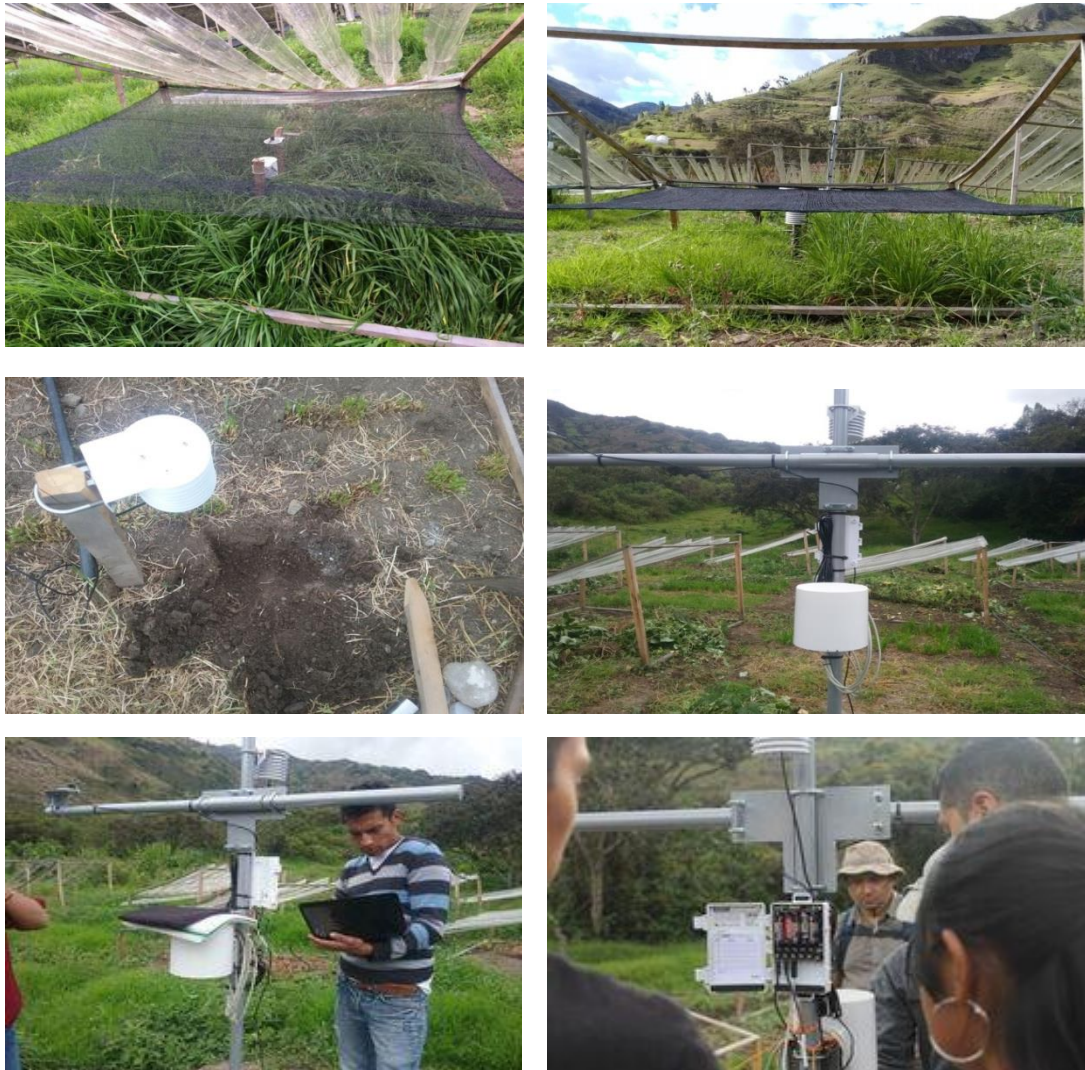
Factor	Primer Corte		Segundo Corte		Tercer Corte	
	Shapiro	Bartlett	Shapiro	Bartlett	Shapiro	Bartlett
Lluvia Rye grass	0.288	0.252	0.284	0.353	0.998	0.192
Lluvia Kikuyo	<b>0.001</b>		0.286	0.705	0.093	0.400
Luz Rye grass	0.259	0.794	0.236	0.564	0.615	0.819
Luz Kikuyo	<b>0.006</b>		0.582	0.062	0.231	<b>0.014</b>
Interacción Rye grass	0.906	0.724	0.908	0.725	<b>0.011</b>	
Interacción Kikuyo	<b>0.002</b>		0.282	0.939	0.119	0.436

Valores  $p$  para las pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y de homogeneidad de variancias (Barlett) de la Conductancia Estomática.

Para la prueba de Shapiro-Wilk,  $H_0$ =la distribución es normal, y  $H_1$ = la distribución no es normal; para Barlett,  $H_0$  = las varianzas de los grupos de valores son similares, y  $H_1$ =al menos la varianza de uno de los grupos es diferente a la de las otras. Si el valor  $p$  es menor o igual al nivel de significancia ( $\alpha$ ), entonces la hipótesis nula ( $H_0$ ) se rechaza. Para este estudio, el nivel de significancia  $\alpha$  es de 5% ( $\alpha = 0.05$ ).



**Anexo 10.** *Monitoreo de variables climáticas en el área de estudio.*

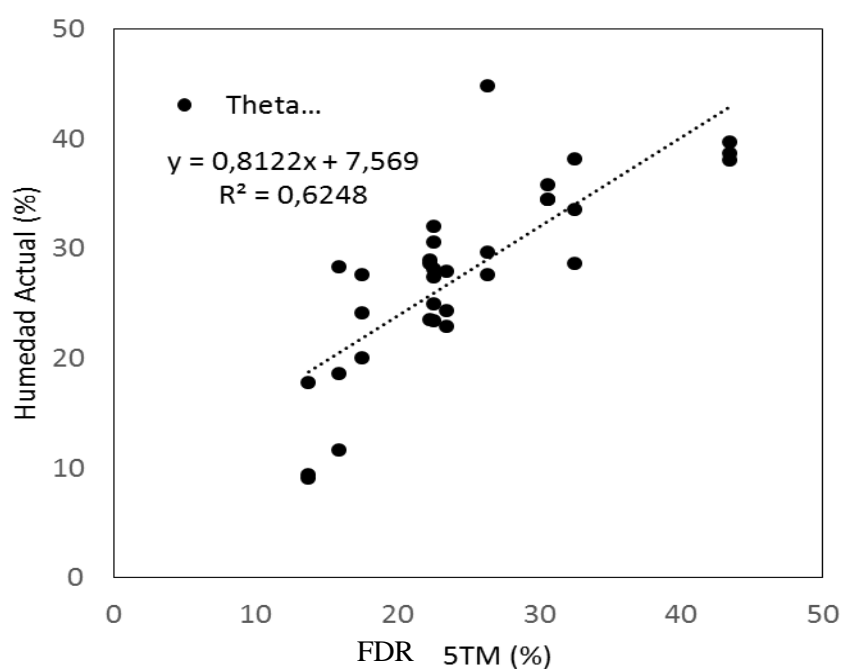


[Fotografía de Aucapiña & Cajamarca]. (Romeral. 2018). Archivos fotográficos Universidad de Cuenca.

**Anexo 11.** Base de datos verificación exclusión de luz.

Sensor PAR	Exc-Luz-80%	Sensor PAR	Exc-Luz-50%	Sensor PAR	Exc-Luz-30%
228.7	40.4	228.7	86.2	133.4	74.0
432.3	85.6	432.3	168.2	996.7	588.7
617.7	129.7	617.7	240.5	1753	972.7
929.4	201.4	929.4	372.0	1731.4	977.8
1212.6	288.7	1212.6	516.4	1856.5	1127.0
1999.8	462.8	1999.8	882.3	1592.4	977.3
758.4	164.6	758.4	300.6	972.3	626.2
1705.5	435.5	1705.5	734.6	295.0	162.7
826.1	182.0	826.1	326.8	431.2	241.4
213.6	42.6	213.6	79.8	578.6	321.8
94.1	15.0	426.2	159.8	752.4	416.7
178.7	31.1	730.3	286.1	632.5	359.2
426.2	83.9	1044.6	412.3	550.2	309.8

**Anexo 12.** Calibración de sensores de humedad del suelo (FDR) del área de estudio





**Anexo 13.** *Recolección de muestras de suelo dentro del área de estudio.*



[Fotografía de Aucapiña & Cajamarca]. (Romeral. 2018). Archivos fotográficos Universidad de Cuenca.

**Anexo 14.** *Pesado y secado de muestras de suelo en laboratorio.*



[Fotografía de Aucapiña & Cajamarca]. (Romeral. 2018). Archivos fotográficos Universidad de Cuenca.



**Anexo 15.** Base de Datos para la Calibración de FDR.

Sensor	Hora	Anillo	M.Humedo	M. Seco	M. Seco2	5TM Moisture/ Temp	TDR 5TM	A	Porosidad	Theta act
A	0.6	97.0	247.7	220.4	220.4	0.2	22.6	1.2	53.4	27.3
A	0.6	95.1	248.3	217.8	217.8	0.2	22.6	1.2	53.7	30.5
A	0.6	96.6	254.8	222.8	222.8	0.2	22.6	1.3	52.4	32.0
T	0.6	95.8	276.3	246.7	246.7	0.3	26.4	1.5	43.1	29.6
T	0.6	95.9	266.6	239.0	239.0	0.3	26.4	1.4	46.0	27.6
T	0.6	95.4	274.8	230.1	230.1	0.3	26.4	1.3	49.2	44.7
A	0.6	96.3	253.2	225.6	225.6	0.2	17.6	1.3	51.2	27.6
A	0.6	95.3	221.6	201.7	201.7	0.2	17.6	1.1	59.9	20.0
A	0.6	95.1	246.4	222.3	222.3	0.2	17.6	1.3	52.0	24.1
B	0.6	96.5	240.4	211.8	211.8	0.2	22.3	1.2	56.5	28.6
B	0.6	95.5	243.3	219.9	219.9	0.2	22.3	1.2	53.1	23.5
B	0.6	95.1	240.1	211.2	211.2	0.2	22.3	1.2	56.2	28.9
T	0.6	95.7	247.7	223.5	223.5	0.2	23.5	1.3	51.8	24.2
T	0.6	96.4	249.9	222.1	222.1	0.2	23.5	1.3	52.6	27.8
T	0.6	95.5	226.9	204.0	204.0	0.2	23.5	1.1	59.0	22.9
A	0.5	97.4	229.5	217.6	211.8	0.2	16.0	1.2	54.6	18.5
A	0.5	98.6	229.3	208.7	202.6	0.2	16.0	1.1	58.5	28.3
A	0.5	97.2	209.6	204.7	198.7	0.2	16.0	1.1	59.4	11.5
B	0.5	95.4	224.7	221.6	215.8	0.1	13.7	1.3	52.4	9.4
B	0.5	97.1	233.0	222.3	216.2	0.1	13.7	1.3	52.8	17.7
B	0.5	96.3	235.0	232.5	226.3	0.1	13.7	1.4	48.6	9.1



*Anexo 16. Equipo de medición de conductancia estomática (porómetro), mantenimiento del equipo, etiquetado de pasturas y muestreo de conductancia..*



[Fotografía de Aucapiña & Cajamarca]. (Romeral. 2018). Archivos fotográficos Universidad de Cuenca.



**Anexo 17.** Base de datos para la conductancia estomática.

COLUMNA	TRATAMIENTO	REPETICION	FECHA	HORA	CE
A6	T1	R1	8/23/2017	13:09	9.3
A10	T1	R2	8/23/2017	12:54	20
C4	T1	R3	8/23/2017	12:36	46.2
E1	T1	R4	8/23/2017	11:23	327.9
F7	T1	R5	8/23/2017	10:58	13.4
A2	T2	R1	8/23/2017	13:26	33.8
A8	T2	R2	8/23/2017	13:01	44.1
B4	T2	R3	8/23/2017	13:15	44.5
C9	T2	R4	8/23/2017	12:47	2
D6	T2	R5	8/23/2017	12:00	8.8
A1	T3	R1	8/23/2017	13:30	8.9
C3	T3	R2	8/23/2017	12:26	21.1
C7	T3	R3	8/23/2017	12:44	32.6
C10	T3	R4	8/23/2017	12:49	28.1
F6	T3	R5	8/23/2017	11:03	33.5
A9	T4	R1	8/23/2017	12:56	28.8
C1	T4	R2	8/23/2017	12:14	29
C6	T4	R3	8/23/2017	12:42	18.7
E8	T4	R4	8/23/2017	11:46	21.3
F3	T4	R5	8/23/2017	11:11	26.8
A7	T5	R1	8/23/2017	13:05	20.5
B1	T5	R2	8/23/2017	13:28	5.8
C5	T5	R3	8/23/2017	12:40	9.6
D10	T5	R4	8/23/2017	11:52	24
D4	T5	R5	8/23/2017	12:05	37



**Anexo 18.** Base de datos registrada por la estación meteorológica para las diferentes variables. meteorológicas..

Measuremen	TIME	PAR $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	RH	$^{\circ}\text{C}$ Temp	kPa Pressure	$\text{m}^3/\text{m}^3$ VWC	$^{\circ}\text{C}$ Temp	$\text{m}^3/\text{m}^3$ VWC/ CALIBRADO
03/08/2017	00:00:00	0.0	0.98	9.6	79.18	0.241	18.3	0.30
03/08/2017	00:05:00	0.0	0.97	9.5	79.18	0.241	18.3	0.30
03/08/2017	00:10:00	0.0	0.98	9.5	79.16	0.241	18.2	0.30
03/08/2017	00:15:00	0.0	0.97	9.5	79.18	0.241	18.2	0.30
03/08/2017	00:20:00	0.0	0.98	9.4	79.18	0.241	18.1	0.30
03/08/2017	00:25:00	0.0	0.98	9.4	79.16	0.241	18.1	0.30
03/08/2017	00:30:00	0.0	0.98	9.3	79.16	0.241	18.0	0.30
03/08/2017	00:35:00	0.0	0.98	9.3	79.16	0.241	18.0	0.30
03/08/2017	00:40:00	0.0	0.98	9.3	79.15	0.241	18.0	0.30
03/08/2017	00:45:00	0.0	0.98	9.3	79.16	0.241	17.9	0.30
03/08/2017	00:50:00	0.0	0.98	9.2	79.15	0.240	17.9	0.29
03/08/2017	00:55:00	0.0	0.98	9.2	79.15	0.240	17.8	0.29
03/08/2017	01:00:00	0.0	0.98	9.2	79.15	0.240	17.8	0.29
03/08/2017	01:05:00	0.0	0.99	9.1	79.13	0.240	17.7	0.29
03/08/2017	01:10:00	0.0	0.98	9.2	79.13	0.240	17.7	0.29
03/08/2017	01:15:00	0.0	0.99	9.3	79.13	0.240	17.7	0.29



**Anexo 19. Área de estudio.**

